

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ / FOOD SYSTEMS

УДК 635-156:004.51

doi: 10.15507/2658-4123.033.202303.356-372

Оригинальная статья



Разработка графического интерфейса приложения для системы технического зрения линии сортировки плодов

П. П. Казакевич¹, А. Н. Юрин² ✉

¹ *Национальная академия наук Беларуси
(г. Минск, Республика Беларусь)*

² *Научно-практический центр Национальной академии наук
Беларуси по механизации сельского хозяйства
(г. Минск, Республика Беларусь)*

✉ anton-jurin@rambler.ru

Аннотация

Введение. В настоящее время интуитивно понятный графический интерфейс является обязательным компонентом современных программных продуктов, ориентированных на работу в сфере сельскохозяйственного производства.

Цель статьи. Повышение эффективности сортировки яблок посредством разработки графического интерфейса управления системой технического зрения для распознавания различных дефектов и сортировки яблок.

Материалы и методы. В работе авторами использовались методы анализа, перебора, сравнения и синтеза современных программных решений.

Результаты исследования. В результате исследований создано графическое приложение программного обеспечения блока управления системой технического зрения, содержащее все необходимые инструменты для управления и оптимизации затрат при сортировке яблок на три товарных сорта.

Обсуждение и заключение. Созданный графический интерфейс системы технического зрения использован в линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4, разработанной Научно-практическим центром Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства в 2020 г. и успешно прошедшей государственные приемочные испытания.

Ключевые слова: графический интерфейс, искусственная нейронная сеть, сортировка яблок, техническое зрение, блок управления

Финансирование: Работа выполнялась в рамках задания 5 «Разработать и освоить производство технологической линии сортировки и фасовки яблок» подпрограммы «Белсельхозмеханизация–2025» государственной научно-технической программы «Инновационные агропромышленные и продовольственные технологии» 2021–2025 гг.

Благодарности: Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку работы.

© Казакевич П. П., Юрин А. Н., 2023



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Казакевич П. П., Юрин А. Н. Разработка графического интерфейса приложения для системы технического зрения линии сортировки плодов // Инженерные технологии и системы. 2023. Т. 33, № 3. С. 356–372. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.033.202303.356-372>

Original article

Development of a Graphic Interface Application for the Vision System of the Fruit Sorting Line

P. P. Kazakevich^a, A. N. Yurin^b✉

^a *The National Academy of Sciences of Belarus (Minsk, Republic of Belarus)*

^b *Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agricultural Mechanization (Minsk, Republic of Belarus)*

✉ anton-jurin@rambler.ru

Abstract

Introduction. At present, an intuitive graphical interface is an indispensable component of modern agricultural-oriented software products.

Aim of the Article. The research is aimed at improving the efficiency of sorting apples by developing a graphical control interface for a vision system to recognize various defects and sort apples.

Materials and Methods. The authors used methods of analysis, enumeration, comparison and synthesis of modern software solutions.

Results. As a result of the research, there was created a graphical application of the software for the control unit of the machine vision system containing all the necessary tools for managing and optimizing costs when sorting apples into three commercial quality classes.

Discussion and Conclusion. The graphical interface of the machine vision system was used in the line LSP-4 for sorting and packing apples. It was developed by Scientific and Practical Center NAS of Belarus for Agricultural Mechanization in 2020 and successfully passed state acceptance tests.

Keywords: graphical interface, artificial neural network, apple sorting, machine vision, control unit

Funding: The work was carried out as a part of the task No. 5 “Development and use of technological line for sorting and packing apples” of the subprogram “Belselkhozmechhanizatsiya–2025” of the state scientific and technical program “Innovative agro-industrial and food technologies” 2021–2025.

Acknowledgments: The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of the paper.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

For citation: Kazakevich P.P., Yurin A.N. Development of a Graphic Interface Application for the Vision System of the Fruit Sorting Line. *Engineering Technologies and Systems*. 2023;33(3):356–372. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.033.202303.356-372>

Введение

В настоящее время контроль качества плодов – мало механизированный процесс и на его выполнение приходится до 70 % всех трудозатрат их товарной обработки [1; 2]¹.

В процессе сортировки учитывается размер плодов, наличие повреждений от болезней, вредителей и механического воздействия.

Из всех известных средств автоматизации, предназначенных для такой цели, наиболее качественно этот процесс может быть выполнен только оптическими средствами контроля на основе системы технического зрения (СТЗ) [3]. Немаловажной частью СТЗ является ее электронный блок управления (ЭБУ), общение оператора с которым осуществляется посредством графического интерфейса пользователя (Graphical User Interface GUI или ГПИ)².

Графический интерфейс пользователя является обязательным компонентом современных программных продуктов, ориентированных на работу конечного пользователя. Интуитивно понятный графический интерфейс пользователя операционной системы и удобные средства управления позволяют повысить эффективность работы СТЗ. Поэтому создание графического интерфейса пользователя, позволяющего осуществлять эффективное управление СТЗ является важной задачей [4]³.

Цель исследования – повышение эффективности сортировки яблок путем разработки интуитивно понятного

графического интерфейса управления системой технического зрения для распознавания дефектов плодов.

Обзор литературы

Приступая к проектированию графического пользовательского интерфейса разработчик сразу сталкивается с большим спектром задач: от разработки принципов визуального взаимодействия человека с компьютером до реализации алгоритмов. Если считать пользовательский интерфейс виртуальным миром, с которым пользователь может взаимодействовать интуитивно понятным ему способом, то компьютерный мир должен быть похожим на реальный либо строиться на принципах онтологии – науки, изучающей существование вещей в мире [5]. Таким образом, первая задача, возникающая при проектировании ГПИ, – разработка принципов структурирования и поведения визуального компьютерного мира. Вторая задача – разработка методов реализации ГПИ. В этом направлении уже есть ряд важных решений, включающих в себя метамодель Arch [6], архитектуры MVC [7] и PAC [8]. Обзор этих решений дал в своей статье О. В. Тиханьчев [9]. Он позволил, учитывая собственный опыт построения интерактивных графических систем, разработать структуру ГПИ в виде иерархии интеракторов – объектов, представляющих конкретный сценарий использования. Использование интеракторов позволяет объединить два существующих подхода к разработке интерактивной системы: со

¹ Роботизированный комплекс для сортировки яблок / П. В. Балабанов [и др.] // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Цифровизация агропромышленного комплекса» (21–23 октября 2020 г.). Тамбов : Тамбов. гос. техн. ун-т., 2020. Т. 1. С. 44–47; Rethinking the Inception Architecture for Computer Vision [Электронный ресурс]. URL: <https://arxiv.org/pdf/1512.00567.pdf> (дата обращения: 26.03.2023).

² Юрин А. Н. Инновационные технологические процессы и технические комплексы для интенсивного садоводства Беларуси : моногр. Минск : Беларуская навука, 2022. 208 с.

³ Жиркова А. А., Балабанов П. В., Дивин А. Г. Автоматизированная система гиперспектрального контроля дефектов яблок // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Современная наука: теория, методология, практика» (13–14 апреля 2021 г.). Тамбов : Тамбов. гос. техн. ун-т., 2021. С. 291–296.

стороны пользователя и функционального ядра [10]⁴. При этом для функционального ядра программного комплекса интерактор – элемент ГПИ, ответственный за ввод и вывод информации, а для пользователя – посредник между ним и функциональными возможностями системы, являющийся формальной основой для исследований свойств диалога. Для этого необходимо разработать модели поведения, раскрывающих внутреннюю структуру и наиболее полно отражающих внешнее поведение системы.

Как правило, для разработки моделей поведения используется унификация и стандартизация управляющих и отображающих элементов, которая может быть выполнена с использованием организационных и технологических подходов на основе требований СТБ, ГОСТ и технического задания [11–16].

В целом подходы, ориентированные на унификацию, упрощают работу по созданию пользовательских интерфейсов в рамках каждого отдельного проекта. В то же время анализ практики создания программного обеспечения показывает, что подходы, основанные на унификации компонентов, обеспечивают лишь частичное решение проблемы создания эффективного пользовательского интерфейса, в первую очередь – в части разработки компонентов общего и общесистемного программного обеспечения.

Анализ зарубежного опыта разработки программной продукции показывает, что наиболее перспективным направлением создания графического интерфейса является метод быстрого прототипирования, в рамках ко-

торого обеспечивается создание прототипов с минимальной функциональностью, но с полным набором входных и выходных форм, и совместная работа с ними будущего пользователя и разработчика с целью оперативного уточнения требований к интерфейсам программ [17–20].

Создан графический интерфейс приложения для сенсорного управления системой технического зрения, обеспечивающий возможность оптимизации настройки управления СТЗ с учетом входного качества плодов, требований пользователя и заказчика, а также принципов организации эргономики рабочих мест.

Материалы и методы

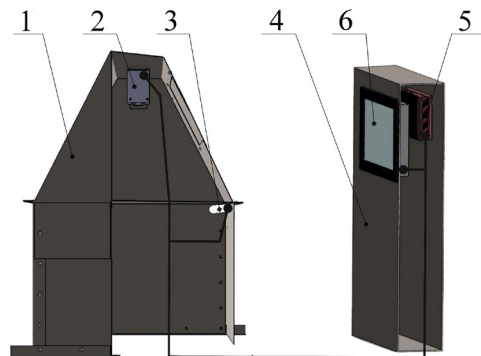
Начальными данными для разработки графического интерфейса являлись технические характеристики СТЗ для сортировки яблок в соответствии с СТБ 2288–2012⁵, а также требования к функциям приложения и архитектуре графического приложения. В работе использовались методы анализа, перебора, сравнения и синтеза современных программных решений. Анализ функционирования графического интерфейса приложения для СТЗ проводился в 2020–2021 гг. в рамках приемочных испытаний технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 в производственных условиях ОАО «Остромечево» Брестской области.

Для анализа работы графического интерфейса создана лабораторная установка системы технического зрения, которая включала в себя: фотомодуль, состоящий из механического защищенного

⁴ Гвоздева Т. В., Баллод Б. А. Проектирование информационных систем. Стандартизация : учебное пособие. СПб. : Лань, 2019. 252 с. ; Купер А. Интерфейс. Основы проектирования взаимодействия ; пер. с англ. 4 изд. СПб. : Питер, 2017. 720 с.; Переверзева К. А. Графический интерфейс программного комплекса Экогис: модуль подготовки начальных данных // Труды института математики и информационных технологий Волгоградского государственного университета : сб. ст. Волгоград, 2021. С. 99–102.

⁵ Яблоки свежие поздних сроков созревания. Технические условия: СТБ 2288-2012. – Введ. 08.11.12. Минск : Госстандарт, 2012. 11 с.

корпуса 1 с видеокамерой 2 и структурированной подсветкой 3, защищенного электрического шкафа 4 с вычислительным модулем 5 и сенсорной панелью управления 6 (рис. 1).



Р и с. 1. Схема лабораторной установки системы технического зрения

Fig. 1. Scheme of the laboratory installation of the vision system

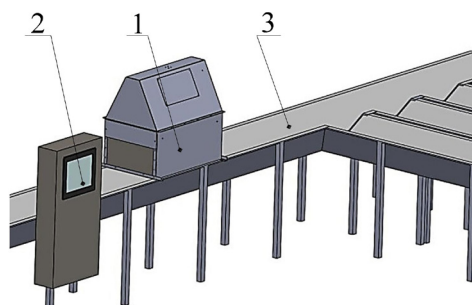
В качестве вычислительного модуля использовали промышленный компьютер фирмы CINCOSE серии DS-1200, оснащенный процессором Intel® Core™ i7-8700 Hexa-Core с тактовой частотой до 4600 МГц, оперативной памятью DDR4 объемом 16 ГБ и жестким диском типа SSD объемом 256 ГБ. На компьютере установлена операционная система Ubuntu (Linux). Управление вычислительным модулем осуществлялось посредством сенсорного промышленного монитора CV-110H/M1001.

Результаты исследования

Исследованиями установлено, что СТЗ должна состоять из оптического модуля с подсветкой и видеокамерой, электронного блока управления (ЭБУ) с исполнительными механизмами сортировщика и конвейера для плодов (рис. 2). При такой компоновке СТЗ оптический модуль располагается над конвейером, по которому транспортируются яблоки. Видеокамера оптического модуля фотографирует яблоки на конвейере

и передает полученные изображения в электронный блок управления, осуществляющий обработку полученных изображений.

При сортировке плодов по качеству, выполняемой СТЗ, осуществляются следующие процессы: подача плодов, их классификация и разделение.



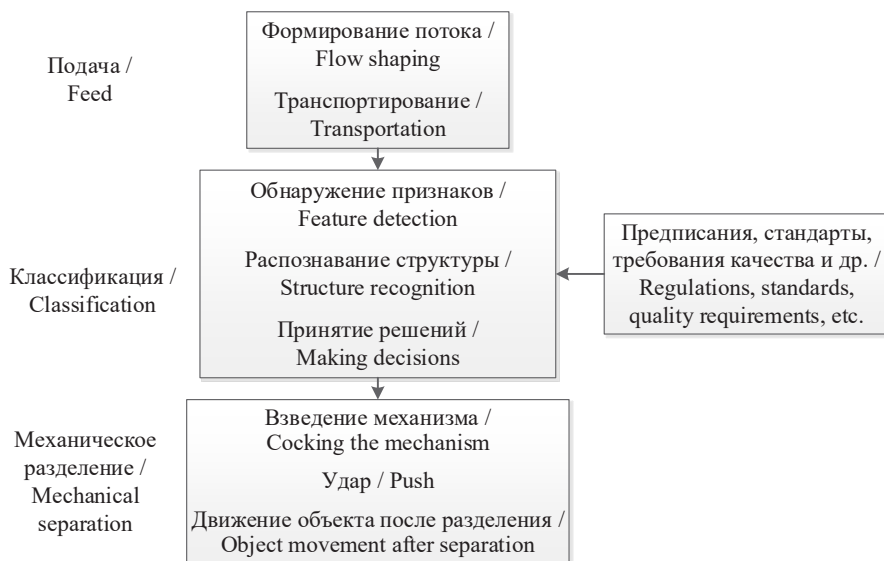
Р и с. 2. Общий вид системы технического зрения для сортировки плодов:

1 – оптический модуль; 2 – электронный блок управления; 3 – конвейер

Fig. 2. General view of the vision system for sorting fruits: 1 – optical module; 2 – electronic control unit; 3 – conveyor

Подачу плодов можно представить, как формирование потока и транспортирование, классификацию – как обнаружение признаков, распознавание структуры и принятие решений на основе заложенных в «память» предписаний, а процесс механизированного разделения – как подпроцессы взвода исполнительного механизма, удара и последующего движения объекта (рис. 3).

В известных линиях сортировки плодов процессы формирования потока и их транспортирование выполняются конвейерами, управление которых не связано с СТЗ. При этом обнаружение признаков, распознавание структуры и принятие решений на основе предписаний, стандартов и требований качества, а также управление исполнительными механизмами разделения потока плодов осуществляет ЭБУ СТЗ.



Р и с. 3. Функциональная схема системы сортировки плодов по качеству
F i g. 3. Functional diagram of the system for sorting fruits by quality

В соответствии с СТБ 2288-2012 яблоки по показателям качества разделяются на три товарных сорта: высший, первый и второй (табл. 1).

Как видно из таблицы 1 для принятия решения о качестве плодов ЭБУ СТЗ должен не только определить диаметр яблока, но и выявить его повреждения.

При этом если диаметр яблок можно определить исходя из геометрических размеров получаемых видеокамерой изображений, то механические повреждения и повреждения плодов болезнями и вредителями – только посредством применения аппарата глубокого обучения искусственной нейронной сети (ИНС). В основе ее функционирования положен принцип распознавания изображения плодов, которые система сравнивает с запрограммированными в память машины образами, получившими название «обучающая выборка»⁵.

Требования, предъявляемые к качеству плодов, определяются не только соответствующим стандартом, но и представлениями о нем потребителем и могут варьироваться в широких пределах. Кроме того, в процессе сортировки процентный выход плодов того или иного сорта зависит от множества факторов: сорта, условий хранения, качества плодов при закладке и др. Это приводит к тому, что занятость рабочих, фасующих отсортированные плоды (высшего, первого, второго сорта), может в значительной степени отличаться от прогнозируемой. Все это требует гибкости в управлении как СТЗ, так и машиной для сортировки плодов в целом.

Таким образом, программное обеспечение ЭБУ СТЗ должно обеспечивать выполнение следующих функций:

- ввод информации о заказе на сортировку плодов;

⁵ Tzutalin. LabelImg [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/HumanSignal/labelImg> (дата обращения: 29.03.2023); Юрин А. Н., Викторovich В. В., Кострома С. П. Снижение затрат труда применением системы технического зрения при сортировке яблок // Межведомственный тематический сборник «Механизация и электрификация сельского хозяйства». Минск : Беларуская навука, 2022. Вып. 55. С. 88–95.

Т а б л и ц а 1
T a b l e 1

Показатели качества сортирования яблок
Quality indicators of sorting apples

Наименование показателя / Name indicator	Характеристика и требования для сорта / Characteristics and requirements for the variety		
	высшего / higher variety	первого / first variety	второго / second variety
Наибольший размер плода, мм / The largest fruit size, mm	70–65	65–60	60–55
Механические повреждения / Mechanical damage			
– «градобоина» / “hail damage”	н/д* / not allowed	до 2 см ² / up to 2 cm ²	2 см ² –1/4 поверхности / 2 cm ² –1/4 surface
– «прокол», «порез», «нажим» / “puncture”, “cut”, “pressure”	н/д / not allowed	до 2 см ² / up to 2 cm ²	2–4 см ²
Повреждения вредителями / Pest damage	н/д / not allowed	до 2 см ² / up to 2 cm ²	2–4 см ²
Повреждения болезнями / Disease damage			
– «гниль» / “rot”		н/д / not allowed	
– «сетка» / “net”	н/д / not allowed	до 1/4 поверхности/ up to 1/4 surface	допускается/ allowed
– «парша» / “scab”	н/д / not allowed	до 2 см ² / up to 2 cm ²	2 см ² –1/4 поверхности / 2 cm ² –1/4 surface

Примечание / Note: * – не допускается / not allowed.

– настройку требований к качеству плодов;

– оперативное управление устройствами для выгрузки от сортированных плодов, для регулировки загруженности рабочих-фасовщиков;

– анализ работы СТЗ и машины для сортировки в целом;

– настройку ЭБУ, тестирование и анализ неисправностей.

В связи с этим было принято решение разделить меню графического приложения на пять основных модулей с расположением их в виде вкладок в порядке их применения при работе с СТЗ:

– «Заказ» – для ввода информации предмете сортировки;

– «Параметры» – для настройки параметров классификации яблок;

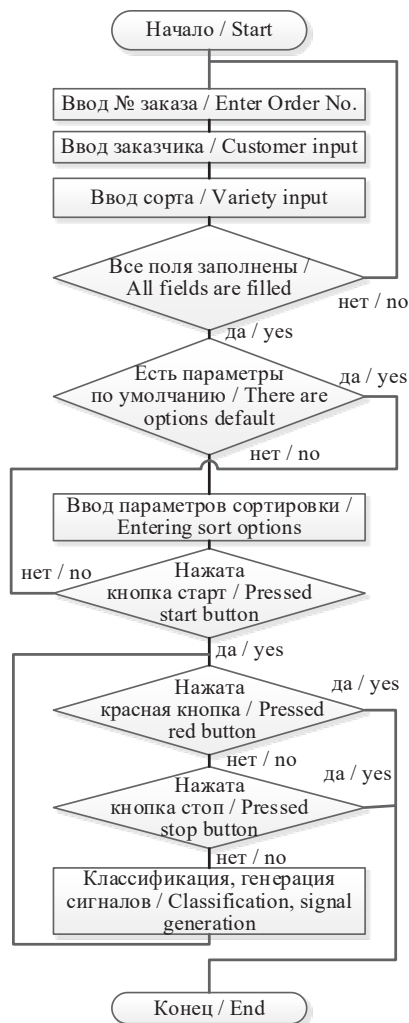
– «Статистика» – для отображения информации о процессе сортировки в режиме реального времени;

– «Лотки» – для распределения потоков отсортированных плодов по выходным конвейерам;

– «Инженерный» – для контроля над информационными и управляющими процессами СТЗ.

На основании данных функций разработан алгоритм работы программного обеспечения графического интерфейса СТЗ (рис. 4).

В представленной схеме первые три этапа предусматривают ввод информации о предстоящей работе: номер заказа, заказчик, сорт плодов. Эта информация необходима для формирования отчета о результатах проделанной работы.



Р и с. 4. Алгоритм работы графического интерфейса СТЗ

F i g. 4. Algorithm of the graphical interface of the VS

Отчет является рекомендательным документом. На его основе пользователь может получить следующую информацию:

- номер заказа;
- наименование заказчика;
- наименование исполнителя;
- дата и сроки выполнения заказа;
- сорт яблок;
- статистические данные полученного продукта, включая:

- 1) геометрические параметры яблок;
 - 2) список допустимых / недопустимых дефектов;
 - 3) плотность яблок;
 - 4) скорость движения конвейера;
- описание характеристик, на основе которых производилась классификация. Графическое изображение вкладки «Заказ» приведено на рисунке 5. Указанная вкладка содержит следующие информационные элементы:

– «№ заказа» – уникальное название для каждого заказа;

– «Заказчик» – уникальное имя заказчика;

– «Сорт» – название сорта яблок в формируемом заказе;

– «Исполнитель» – имя пользователя, осуществляющего настройку системы;

– «Ответственный» – имя пользователя, осуществляющего контроль за работой системы;

– «Дата» – данные о дате, используются для формирования отчета.

Оператор не сможет запустить процесс сортировки плодов без информации, заполненной во вкладках «Заказ» (номер заказа, наименование заказчика, наименование исполнителя, сорт), «Рецепт» (коэффициенты классификации яблок по сортам) и «Статистика» (плотность). Следует оговориться, что если перечисленные параметры удовлетворяют значениям, хранящимся «по умолчанию», то оператор может их не заполнять. Только после этого у оператора есть возможность нажать на кнопку «Старт», так как до этого момента она была в главном окне, но не активна.

Кроме того, для повышения безопасности функционирования СТЗ в алгоритм управления введена коман-

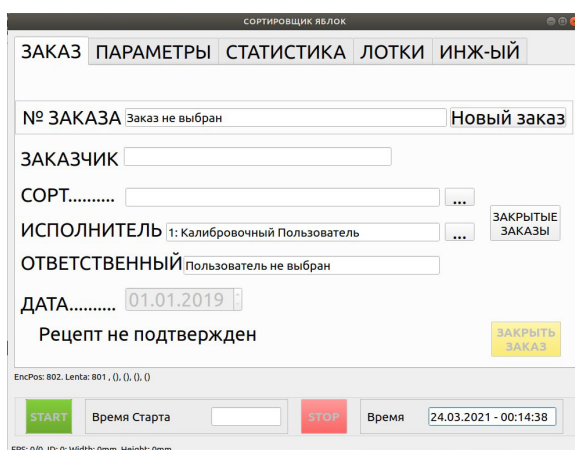
да прерывания выполнения процесса сортировки, активируемая кнопкой аварийной остановки (в дальнейшем – «красная» кнопка).

В соответствии с алгоритмом работы графического интерфейса СТЗ после ввода информации о заказе оператором СТЗ происходит настройка параметров классификации яблок посредством вкладки «Параметры» (рис. 6).

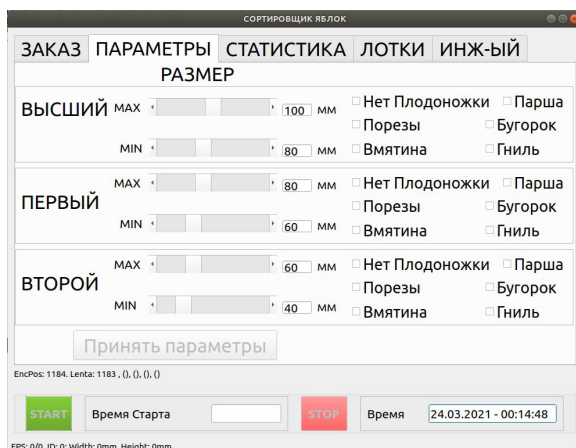
Для этого во вкладке использованы шесть «ползунков», по два на каждый из сортов, которые позволяют бесступенчато изменять диаметр, относящийся к соответствующему сорту плода.

Во вкладке имеются индикаторы, позволяющие блоку управления СТЗ учитывать те или иные дефекты плодов в каждом из трех сортов.

При этом, если в предыдущей вкладке «Заказ» был выбран сорт, использовавшийся уже в предыдущих сессиях, то указанные выше значения коэффициентов устанавливаются по последним значениям автоматически. Если яблоки, используемые в текущем заказе, в небольших пределах отличаются от значений, установленных по умолчанию (в связи со сменой поставщика или иных условий), то у оператора есть возможность их корректировки.



Р и с. 5. Вкладка «Заказ»
F i g. 5. Order tab



Р и с. 6. Вкладка «Параметры»

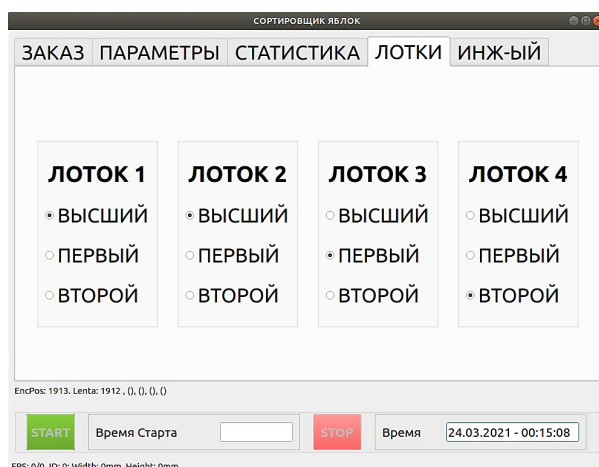
F i g. 6. Options tab

После завершения настройки качественных параметров сортировки яблок по сортам оператором назначаются выходные конвейеры для каждого из сортов яблок во вкладке «Лотки» (рис. 7).

При выполнении процесса сортировки плодов с частичным использованием ручного труда важным является контроль производительности сортировки на каждый сорт, что позволит в режиме реального времени контролировать ра-

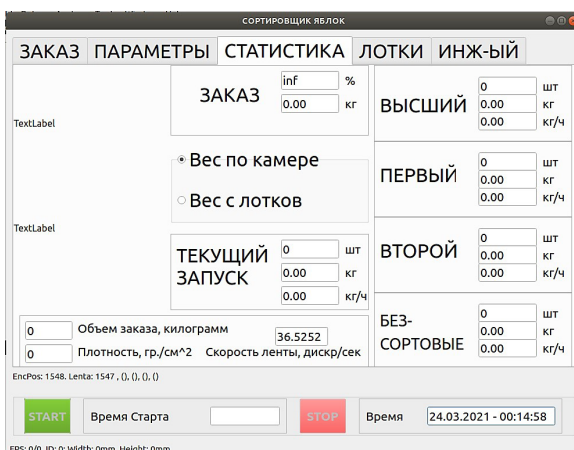
боту, определить точные сроки выполнения операции и выявить нарушения технологий уборки и хранения плодов. Для этого в графическом интерфейсе ЭБУ СТЗ использована вкладка «Статистика» (рис. 8).

В данной вкладке в режиме реального времени дается информация о производительности сортировки яблок как в целом, так и по отдельным сортам (в шт., кг и кг/ч).



Р и с. 7. Вкладка «Лотки»

F i g. 7. Trays tab



Р и с. 8. Вкладка «Статистика»

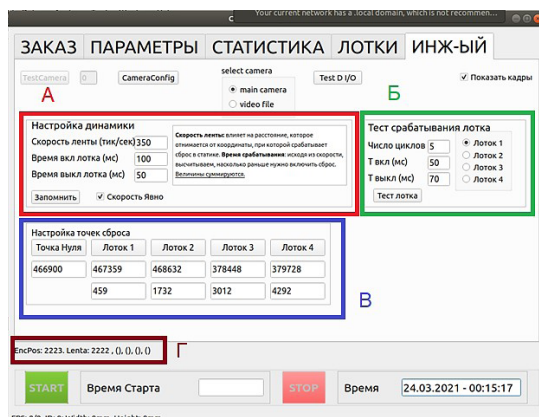
F i g. 8. Statistics tab

Анализ получаемой информации оператором из вкладки «Статистика» (рис. 8) графического меню позволяет определить, сколько плодов каждого сорта получается. Последняя информация необходима оператору для принятия решения о выделении дополнительного выходного транспортера для сорта, на котором объем поступающих отсортированных плодов значительно больше других (рис. 7).

Для настройки СТЗ контроля ее функционирования в ГПИ добавлена вкладка «Инженерный», представленная на рисунке 9.

Данная вкладка является служебной и предназначена для работы инженера, осуществляющего наладку ЭБУ. С помощью вложенных элементов меню и настроек наладчик имеет следующие возможности:

- сектор А – настройка срабатывания механизма сбрасывания яблок с ручным и автоматическим вводом скорости движения главного конвейера;
- сектор Б – тестирование и установление временных характеристик механизма разделения потока яблок;



Р и с. 9. Вкладка «Инженерный»

F i g. 9. Engineering tab

– сектор В – установка расстояний до места разделения потока яблок для каждого из выходных транспортеров;

– сектор Г – отображение ошибок срабатывания соленоидов сбрасывания яблок и очередности их работы для каждого из выходных транспортеров.

Обсуждение и заключение

Созданный графический интерфейс использован в системе технического зрения технологической линии сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 (рис. 10), разработанной РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства».

Техническая характеристика технологической линии приведена в таблице 2.

Для оценки качества сортировки яблок СТЗ использовались метрики IoU и Accurasy.

Метрика Accurasy является величиной, обозначающей долю правильных ответов алгоритма, значение которой определялось по формуле:

$$\text{Accuracy} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN}.$$

Метрика Intersection over Union (IoU) – величина, показывающая, насколько у двух объектов (эталонного и текущего) совпадает внутренняя площадь:

$$\text{IoU} = \frac{p\text{BB}}{t\text{BB}},$$

где tBB – реальная площадь объекта; pBB – площадь объекта, предсказанная детектором.

Значения метрики Accurasy при определении сорта яблок СТЗ приведены в таблице 3.

Приемочные испытания линии проходили в ОАО «Остромечево» в Брестском районе, аг. Остромечево в 2020–2021 годах⁶. Испытания линии сортировки яблок проводились в соответствии с ГОСТ Р 54780-2011 «Машины для товарной обработки плодов. Методы испытаний».

Определение качества сортировки яблок осуществлялось в соответствии с агротехническими требованиями, указанными в таблице 1.



Р и с. 10. Система технического зрения линии сортировки ЛСП-4:
1 – оптический модуль с видеокамерой и структурной подсветкой;
2 – электронный блок управления; 3 – конвейер;
4 – выходной транспортер для отсортированных плодов

F i g. 10. Vision system of sorting line LSP-4: 1 – optical module with a video camera and structural illumination; 2 – electronic control unit; 3 – conveyor;
4 – output conveyor for sorted fruits

⁶ Протокол приемочных испытаний линии технологической сортировки и фасовки яблок ЛСП-4 от 25 февраля 2022 г. № 004-1/3-2022 / ИЦ ГУ «Белорусская МИС». п. Привольный, 2022. 99 с.

Т а б л и ц а 2
T a b l e 2

Техническая характеристика линии ЛСП-4
Technical characteristics of the line LSP-4

Наименование показателя / Name of indicator	Значение / Meaning
Количество отводящих конвейеров, шт. / Number of outfeed conveyors, pcs.	4
Скорость движения сортировальных кареток, м/с / Sorting carriage speed, m/s	0,10–0,78
Производительность за час основного времени, т* / Productivity per hour of main time, t*	2,5, не более / no more
Параметры, по которым осуществляется сортировка / Parameters by which sorting is carried out	размер, механические повреждения, повреждения от вредителей / size, mechanical damage, pest damage
Обслуживающий персонал, чел. / Service personnel, pers.	8
Допустимое отклонение по наибольшему диаметру яблок, находящихся в одной и той же таре, не более / Permissible deviation in the largest diameter of apples in the same container, no more	10 мм / mm

Примечание / Note: * – зависит от физических и структурно-механических свойств плодов / depends on the physical and structural-mechanical properties of the fruits.

Анализ результатов испытаний показал, что технологическая линия соответствует требованиям технического задания и обеспечивает качественное выполнение технологического процесса сортировки яблок по размеру и наличию дефектов от механических повреждений, болезней и вредителей. При этом точность сортировки плодов по размеру составила 75,4 %, а точность сортировки по размеру и наличию дефектов – 73,1 % (табл. 4).

Некоторое снижение точности сортирования по отношению к техническому

заданию объясняется наличием в сортируемых плодах большого количества яблок, имеющих значительные механические повреждения (более 20 % поверхности) и плодов с обширной гнилью, более 1/2 площади плода, присутствие которых не допускается.

При этом применение разработанного графического интерфейса позволило обеспечить производительность труда на сортировке в 1,76–1,80 т/ч или 225 кг/ч на одного человека, что в 3 раза выше производительности при ручной сортировке плодов⁷.

Т а б л и ц а 3
T a b l e 3

Значения метрики Accuracy при определении сорта яблок нейронной сетью
Values of Accuracy metric when determining the variety of apples by a neural network

Сорт яблок / Apple variety	Accuracy
Высший / Higher	0,763
Первый / First	0,825
Второй / Second	0,851
Без сортовой / Without varietal	0,864

⁷ Организационно-технологические нормативы возделывания овощных, плодовых, ягодных культур и выращивания посевного материала : сборник отраслевых регламентов / В. Г. Гусаков [и др.]. Минск : Беларуская навука, 2010. 520 с.

Функциональные показатели и показатели работы линии
Functional performance and line performance

Наименование показателя / Name of indicator	Значение показателя / Indicator value	
	по ТЗ / according to ТК	по результатам испытаний / by test results
Повреждение продукции линией после сортировки, % / Damage to products by the line after sorting, %	10,0, не более / not more than	1,3
Точность сортирования, % / Sorting accuracy, %	80,0, не менее / not more than	73,1
Точность сортирования с допустимым отклонением по наибольшему диаметру, % / Sorting accuracy with maximum diameter tolerance, %	80,0, не менее / not more than	75,4
Эксплуатационно-технологические показатели: / Operational and technological indicators:		
Производительность за час основного времени, т/ч / Productivity per hour of main time, t/h	2,5, не более / not more than	1,80

Расчет экономических показателей использования линии сортировки яблок ЛСП-4 производился в сравнении с импортным аналогом – линией сортировки яблок «Rollerstar CV-C3 1-7+1» фирмы «Aweta», Голландия, по ТКП 151-2008 «Испытания сельскохозяйственной техники. Методы экономической оценки. Порядок определения показателей»⁸ с использованием нормативно-справочных материалов и действующих тарифных ставок оплаты труда механизаторов и стоимости топлива.

В результате расчета сравнительных показателей экономической эффективности при работе линии установлено, что годовой приведенный экономический эффект от применения линии составляет 2,9 млн. руб., а срок окупаемости – 4,59 года.

1. В результате исследований создано графическое приложение программного обеспечения ЭБУ СТЗ линии сортировки и фасовки яблок.

2. Графический интерфейс пользователя системы технического зрения содержит все необходимые инструменты («Заказ», «Параметры», «Статистика», «Лотки» и «Инженерный») для управления и оптимизации затрат при сортировке яблок на три товарных сорта.

3. Приемочные испытания линии сортировки плодов ЛСП-4, которая оснащена системой технического зрения с разработанным программным обеспечением и графическим интерфейсом, показали ее высокую производительность труда в 3 раза превышающую таковую при ручной сортировке плодов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов И. Г., Хорт Д. О., Кутырев А. И. Интеллектуальные технологии и роботизированные машины для возделывания садовых культур // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021. Т. 15, № 4. С. 35–41. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-35-41>

⁸ ТКП 151-2008 «Сельскохозяйственная техника. Методы экономической оценки. Порядок определения показателей».

2. Разработка методов мультиспектральной дифференциации природных и синтетических материалов на основании спектральных характеристик диффузного отражения / Ш. З. Ловпаче [и др.] // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. 2021. № 10. С. 11–17. URL: <https://izv.etu.ru/assets/files/izvestiya-10-2021-11-17.pdf> (дата обращения: 29.03.2023).

3. Казакевич П. П., Юрин А. Н., Прокопович Г. А. Система технического зрения распознавания дефектов яблок: обоснование, разработка, испытание // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия аграрных наук. 2021. Т. 59, № 4. С. 488–500. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-4-488-500>

4. Разработка алгоритмов системы распознавания ягод земляники садовой при роботизированном сборе / Д. О. Хорт [и др.] // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2020. № 1. С. 133–141. <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2020-67-1-133-141>

5. Коваленко Т. А., Солодов А. Г. Игровой интерфейс, как объект исследования // The Scientific Heritage. 2020. № 45-1 (45). С. 36–42. EDN: ZJQNAN

6. Кудрявцев М. А. Методика измерения сложности восприятия графического интерфейса пользователя // Современные инновации. 2017. № 4 (18). С. 10–12. EDN: YKRBCF

7. Дудник М. Д. Разработка пользовательских интерфейсов программного обеспечения для анализа данных: обзор существующих подходов // Вестник молодых ученых Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. 2022. № 2. С. 23–28. URL: http://publish.sutd.ru/docs/content/vestnik_mu_2_2022.pdf (дата обращения: 29.03.2023).

8. Федорова С. В. Определение многокритериального показателя качества графического интерфейса программно-аппаратного комплексного комплекса связи // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2021. Т. 13, № 3. С. 20–27. <https://doi.org/10.36724/2409-5419-2021-13-3-20-27>

9. Тиханычев О. В. Пользовательские интерфейсы в автоматизированных системах: проблемы разработки // Программные системы и вычислительные методы. 2019. № 2. С. 11–22. <https://doi.org/10.7256/2454-0714.2019.2.28443>

10. Назаренко Н. А., Падерно П. И. Влияние интерфейса на состояние и здоровье оператора // Биотехносфера. 2009. № 6 (6). С. 45–52. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-interfeysana-sostoyaniya-i-zdorovie-operatora/viewer> (дата обращения: 29.03.2023).

11. Конюхова О. В. Модель системы управления интерфейсом пользователя для разработки пользовательских интерфейсов графических редакторов // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Информационные системы и технологии. 2004. № 5 (6). С. 82–86. URL: <https://oreluniver.ru/science/journal/isit/archive?p=11> (дата обращения: 29.03.2023).

12. Хорт Д. О., Кутырев А. И., Филиппов Р. А. Система компьютерного зрения для распознавания ягод земляники садовой // Новости науки в АПК. 2019. № 3 (12). С. 308–313. <https://doi.org/10.25930/2218-855X/080.3.12.2019>

13. Разработка навесной системы для управления пропашным культиватором в автоматическом режиме / В. В. Азаренко [и др.] // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. наук. 2021. Т. 59, № 2. С. 232–242. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-232-242>

14. Горонков К. А., Руденко О. В., Усатиков С. В. База данных обучающей выборки для высокоточного распознавания плоских изображений сортов злаковых и масличных культур // Фундаментальные исследования. 2011. № 8–2. С. 342–346. URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=27960> (дата обращения: 29.03.2023).

15. Истратова Е. Е., Пустовских Д. А. Разработка и исследование биометрической системы распознавания лиц на основе применения метода глубокого обучения // International Journal of Open Information Technologies. 2022. Т. 10, № 12. С. 66–74. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-i-issledovanie-biometricheskoj-sistemy-raspoznvaniya-lits-na-osnove-primeneniya-metodaglubokogo-obucheniya/viewer> (дата обращения: 29.03.2023).

16. Арефьев Р. А., Зудилова Т. В. SOA паттерн проектирования пользовательских интерфейсов для мультиплатформенных приложений // Программные системы и вычислительные методы. 2016. № 2. С. 201–209. <https://doi.org/10.7256/2305-6061.2016.2.18627>

17. Tsai W. T., Shao Q., Li W. Service-oriented user interface modeling and composition // e-Business Engineering, 2008. ICEBE'08. IEEE International Conference on. IEEE, 2008. С. 21–28. <https://doi.org/10.1109/SOCA.2010.5707139>

18. Building Multi-platform User Interfaces with UIML / M. F. Ali [et al.] // Computer-Aided Design of User Interfaces III. Springer Netherlands, 2002. P. 255–266. <https://doi.org/10.48550/arXiv.cs/0111024>

19. Ganganagowdar N. V., Gundad A. V. Intelligent Computer Vision System for Vegetables and Fruits Quality Inspection Using Soft Computing Techniques // *Agricultural Engineering International*. 2019. Vol. 21, issue 3. P. 171–178. URL: <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/5188> (дата обращения: 29.03.2023).

20. Gauch S., Chaffee J., Pretschner A. Ontology-based Personalized Search and Browsing. *Web Intelligence and Agent Systems*, 1, 2003. P. 219–234. URL: https://www.researchgate.net/publication/220298562_Ontology-based_personalized_search_and_browsing (дата обращения: 29.03.2023).

Поступила 30.03.2023; одобрена после рецензирования 24.04.2023; принята к публикации 26.07.2023.

Об авторах:

Казакевич Петр Петрович, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, заместитель Председателя Президиума Национальной академии наук Беларуси (220072, Республика Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, д. 66), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9102-2816>, oan2011@mail.ru

Юрин Антон Николаевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий лабораторией РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства» (220049, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Кнорина, д. 1), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9348-8110>, anton-jurin@rambler.ru

Заявленный вклад авторов:

П. П. Казакевич – научное руководство, доработка текста, итоговые выводы.

А. Н. Юрин – концепция исследований, реализация исследований, написание исходного текста, итоговые выводы.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи

REFERENCES

1. Smirnov I.G., Hort D.O., Kutyrev A.I. Intelligent Technology and Robotic Horticulture Machines. *Agricultural Machines and Technologies*. 2021;15(4):35–41. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-35-41>
2. Lovpache Sh.Z., Mamelin Yu.V., Sinita S.G., Buzko V.Yu., Mamelina A.S. Development of Methods for Multispectral Differentiation of Natural and Synthetic Materials Based on the Spectral Characteristics of Diffuse Reflection. *Izvestiya SPbGETU LETI*. 2021;(10):11–17. Available at: <https://izv.etu.ru/assets/files/izvestiya-10-2021-11-17.pdf> (accessed 29.03.2023). (In Russ., abstract in Eng.)
3. Kazakevich P.P., Yurin A.N., Prokopovich G.A., Technical Perspective System of Apple Defects: Substantiation, Development, Verification. *Ves. National Acad. Sciences of Belarus. Ser. Agrarian Sciences*. 2021;59(4):488–500. <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-4-488-500>
4. Khort D.O., Kutyrev A.I., Smirnov I.G., Filippov R.A., Vershinin R.V. Development of Algorithms for a System of Rich Berries of Garden Strawberries with Robotic Picking. *Electrical Technologies and Electrical Equipment in the Agro-industrial Complex*. 2020;(1):133–141. <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2020-67-1-133-141>
5. Kovalenko T., Solodov A. Game Interface as an Object of Study. *The Scientific Heritage*. 2020;(45-1):36–42. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/igrovoy-interfeys-kak-obekt-issledovaniya/viewer> (accessed 04.04.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
6. Kudryavtsev M.A. Methodology for Measuring the Complexity of Perception of the Graphical User Interface. *Modern Innovations*. 2017;(4):10–12. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-izmereniya-slozhnosti-vospriyatya-graficheskogointerfeysa-polzovatelya/viewer> (accessed 04.04.2022). (In Russ.)
7. Dudnik M.D. Design of User Interfaces for Data Analysis Software: Overview of Existing Approaches. *Vestnik of St. Petersburg State University of Technology and Design*. 2022;(2):23–28. Available at: http://publish.sutd.ru/docs/content/vestnik_mu_2_2022.pdf (accessed 29.03.2023). (In Russ., abstract in Eng.)
8. Fedorova S.V. Determination of a Multi-Criteria Indicator of the Quality of the Graphical Interface of the Hardware-Software Complete Communication Complex. *H&ES Research*. 2021;13(3):20–27. <https://doi.org/10.36724/2409-5419-2021-13-3-20-27>

9. Tikhanychev O.V. User Interfaces in Automatic Sources: Development Problems. *Software Systems and Computational Methods*. 2019;(2):11–22. <https://doi.org/10.7256/2454-0714.2019.2.28443>
10. Nazarenko N.A., Paderno P.I. Influence of Appearance on the Condition and Health of the Operator. *Biotechnosfera*. 2009;(6):45–52. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-interfeysa-na-sostoyanie-i-zdorovie-operatora/viewer> (accessed 29.03.2022). (In Russ., abstract in Eng.)
11. Konyukhova O.V. Model of the User Interface Management System for the Development of User Interfaces for Graphic Editors. *Bulletin of the Oryol State Technical University. Series: Information Systems and Technologies*. 2004;(5):82–86. Available at: <https://oreluniver.ru/science/journal/isit/archive?p=11> (accessed 29.03.2023). (In Russ., abstract in Eng.)
12. Hort D.O., Kutyrev A.I., Filippov R.A. Computer Vision System for Recognition Strawberries. *Novosti nauki v APK*. 2019;(3):308–313. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.25930/2218-855X/080.3.12.2019>
13. Azarenko V.V., Komlach D.I., Goldyban V.V., Baranovsky I.A., Prokopovich G.A. Development of a Hinged System for Controlling a Row Cultivator in Automatic Mode. *Weight. National Acad. Sciences of Belarus. Ser. Agrarian Sciences*. 2021;59(2):232–242. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2021-59-2-232-242>
14. Goronkov K.A., Rudenko O.V., Usatkov S.V. Database of the Training Sample for High-Precision Recognition of Flat Images of Cereal and Oilseed Varieties. *Fundamental Research*. 2011;(8):342–346. Available at: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=27960> (accessed 29.03.2023). (In Russ., abstract in Eng.)
15. Istratova E.E., Pustovskikh D.A. Development and Research of a Biometric Face Recognition System Based on the Application of the Deep Learning Method. *International Journal of Open Information Technologies*. 2022;10(12):66–74. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-i-issledovanie-biometricheskoy-sistemy-raspoznavaniya-lits-na-osnove-primeneniya-metoda-glubokogo-obucheniya/viewer> (accessed 29.03.2023). (In Russ., abstract in Eng.)
16. Arefiev R.A., Zudilova T.V. SOA Design Pattern for User Interfaces for Multiplatform Applications. *Software Systems and Computational Methods*. 2016;(2):201–209. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.7256/2305-6061.2016.2.18627>
17. Tsai W. T., Shao Q., Li W. Service-Oriented User Interface Modeling and Composition. In: *eBusiness Engineering*, 2008. ICEBE'08. IEEE International Conference on. IEEE; 2008. P. 21–28. <https://doi.org/10.1109/SOCA.2010.5707139>
18. Ali M.F., Perez-Quinones M.A., Shell E., et al. Building Multi-Platform User Interfaces with UIML. *Computer-Aided Design of User Interfaces III*. Springer Netherlands; 2002. Pp. 255–266. <https://doi.org/10.48550/arXiv.cs/0111024>
19. Ganganagowdar N.V., Gundad A.V. Intelligent Computer Vision System for Vegetables and Fruits Quality Inspection Using Soft Computing Techniques. *Agricultural Engineering International*. 2019;21(3):171–178. Available at: <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/5188> (accessed 29.03.2023).
20. Gauch S., Chaffee J., Pretschner A. Ontology-Based Personalized Search and Browsing. *Web Intelligence and Agent Systems*. 2003;(1):219–234. Available at: https://www.researchgate.net/publication/220298562_Ontology-based_personalized_search_and_browsing (accessed 29.03.2023).

Submitted 30.03.2023; revised 24.04.2023; accepted 26.07.2023.

About the authors:

Petr P. Kazakevich, Dr.Sci. (Engr.), Professor, Corresponding Member, Deputy Chairman of the Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus (66 Nezavisimosti Ave., Minsk 220072, Republic of Belarus), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9102-2816>, oan2011@mail.ru

Anton N. Yurin, Cand.Sci. (Engr.), Associate Professor, Head of Laboratory, Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agricultural Mechanization (1 Knorina St., Minsk 220049, Republic of Belarus), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9348-8110>, anton-jurin@rambler.ru

Authors contribution:

P. P. Kazakevich – scientific management, revision of the text, final conclusions.

A. N. Yurin – concept of the research, research implementation, text writing, final conclusions.

All authors have read and approved the final manuscript.