

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(УО «ВГТУ»)

УДК 621.317
ГР. № 20240781


УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор
В.А. Жизневский
«9» 12 2025 г.
М.П.




ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

РАЗРАБОТАТЬ КОМПЛЕКС ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ
ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПРОВЕРКИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ
ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОННЫХ И МЕХАТРОННЫХ УЗЛОВ
АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ И ВНЕДРИТЬ НА ОАО «ВЗЭП»
(заключительный)
643/ЦИТ-21/3

Научный руководитель
к.т.н., доцент


«9» 12 2025 г. А. Г. Кириллов


Начальник научно-
исследовательской части


«9» 12 2025 г. В.А. Сажин

Витебск 2025

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Научный руководитель:
к.т.н., доцент каф. АПП




(подпись, дата)
09.12.2025

Кириллов А. Г.
(общее руководство,
координация выполнения,
введение, заключение,
общая редакция отчета))

Исполнители:

ст.препод. каф. ИСиТ



(подпись, дата)
09.12.2025


Бизюк А. Н.
(разделы 1-4)

асс. каф. ИСиТ

(подпись, дата)
09.12.2025

Карнилов М. С.
(разделы 1-4)

Нормоконтроль



(подпись, дата)
09.12.2025

Федорова Т. Г.

РЕФЕРАТ

Отчет 98 с., 20 рис., 27 источников.

ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ, ПЭВМ, МАТЛАВ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, АЛГОРИТМ, МЕХАТРОННЫЙ УЗЕЛ, СТРЕЛОЧНАЯ И МАТРИЧНАЯ ИНДИКАЦИЯ, АНАЛОГОВЫЕ, ЦИФРОВЫЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ КАНАЛЫ.

Объектом разработки являлся комплекс программно-технических средств для автоматизированной проверки функциональных параметров электронных и мехатронных узлов автотракторной техники. Комплекс включает три специализированных автоматизированных стенда (САП): САП-1 для проверки узлов со стрелочной и матричной индикацией, САП-2 для узлов с механическими элементами управления, САП-3 для узлов с аналоговыми, цифровыми и информационными каналами.

Целью являлась разработка и внедрение на ОАО «ВЗЭП» указанного комплекса для радикального повышения эффективности и качества выходного контроля продукции. Конкретные задачи включали снижение трудоемкости и себестоимости изготовления, устранение влияния человеческого фактора, повышение производительности проверки и, как следствие, конкурентоспособности выпускаемых изделий.

Работа выполнялась в соответствии с календарным планом НИОКР и включала последовательные этапы: анализ требований и проектирование, разработку ПО верхнего (пользовательский интерфейс, логика управления) и нижнего (драйверы, обмен с аппаратурой) уровней, создание макетных образцов стендов, их циклические испытания и доработку, финальную корректировку и интеграцию в технологический процесс. Методология основывалась на применении систем технического зрения для распознавания изображений (САП-1, 2), использовании программируемых манипуляторов для эмуляции механических воздействий (САП-2), разработке специализированных аппаратно-программных измерительных и управляющих блоков (САП-1,2,3), а также на принципах модульности и многоместности (параллельной проверки нескольких изделий).

В результате работы создан и внедрен комплекс из трех автоматизированных стендов (САП-1, САП-2, САП-3). Разработано и передано заказчику все необходимое программное обеспечение, техническая и эксплуатационная документация. Научно-техническая новизна разработки защищена патентами РБ № 13628 и 24365. Новизна заключается в создании интегрированного решения для автоматизированного контроля разнородных классов узлов, сочетающего методы компьютерного зрения, роботизированного управления и прецизионных электрических измерений, что ранее в подобном комплексе для автотракторного приборостроения не реализовывалось.

Результаты работы предназначены для применения в производственных подразделениях предприятий, выпускающих электронные и мехатронные компоненты для транспортной техники, в первую очередь — на ОАО «ВЗЭП». Комплекс может быть адаптирован для проверки аналогичных изделий в смежных отраслях приборостроения.

Результаты НИОКР успешно внедрены в производственный процесс ОАО «ВЗЭП». Подписаны все предусмотренные планом акты передачи программного обеспечения, акты внедрения и итоговый акт приемки НИОКР. Стенды приняты в опытную, а затем в промышленную эксплуатацию.

Внедрение комплекса обеспечило значительный экономический эффект. Производительность процесса проверки функциональных параметров повысилась в среднем в 5 раз (с 3,6 до 18,0 шт./час). Трудоемкость контроля сокращена на 60-80% в зависимости от типа изделия, что приводит к существенному снижению себестоимости. Проект имеет высокий коэффициент экономической эффективности (расчетный — 6,2) и обеспечивает возврат бюджетных средств за счет налоговых отчислений. Социальный эффект заключается в высвобождении персонала от рутинных операций и переводе его на задачи более высокой квалификации.

Дальнейшее развитие объекта исследования видится в следующих направлениях:

1. Расширение номенклатуры проверяемых изделий за счет создания дополнительных адаптеров и конфигураций программного обеспечения.
2. Интеграция стендов в единую корпоративную систему управления производством (MES) для автоматического сбора статистики, планирования проверок и управления качеством.
3. Развитие функций прогностической аналитики и предиктивного обслуживания на основе анализа накопленных данных о параметрах проверяемых узлов.
4. Адаптация методологии и технических решений для создания аналогичных стендов для проверки электронных узлов других видов техники (дорожно-строительной, сельскохозяйственной, специальной).
5. Коммерциализация разработки как готового продукта для продажи другим предприятиям приборостроительной и автомобильной отраслей.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение.....	6
1 Средства реализации аппаратно-программных и программных блоков.....	9
1.1 Функциональная схема стенда САП-1 для проверки ЩП-8156.....	9
1.2 Функциональная схема стенда САП-1 для проверки ПП-8180.....	10
1.3 Функциональная схема стенда САП-2 для проверки СУМ-8159.....	12
1.4 Функциональная схема стенда САП-3 для проверки БД-8223.....	13
1.5 Структурная схема стенда САП-1 для проверки ЩП-8155, ЩП-8156.....	15
1.6 Структурная схема стенда САП-1 для проверки ПП-8180.....	16
1.7 Структурная схема стенда САП-2 для проверки СУМ-8159.....	17
1.8 Структурная схема стенда САП-3 для проверки БД-8223.....	18
2 Программное обеспечение функциональных блоков макетного образца САП-1.....	22
2.1 ПО верхнего уровня САП-1.....	22
2.2 ПО нижнего уровня САП-1.....	32
3 Программное обеспечение функциональных блоков макетного образца САП-2.....	41
3.1 ПО верхнего уровня САП-2.....	41
3.2 ПО нижнего уровня САП-2.....	46
4 Программное обеспечение функциональных блоков макетного образца САП-3.....	53
4.1 ПО верхнего уровня САП-3.....	53
4.2 ПО нижнего уровня САП-3.....	60
Заключение.....	64
Список использованных источников.....	67
Приложение А - ТЗ на ПО верхнего уровня комплекса.....	70
Приложение Б - ТЗ на ПО нижнего уровня комплекса.....	76
Приложение В - ТЗ на ПО САП-1.....	81
Приложение Г - ТЗ на ПО САП-2.....	87
Приложение Д - ТЗ на ПО САП-3.....	93

ВВЕДЕНИЕ

Современная автотракторная техника характеризуется высокой степенью интеграции сложных электронных и мехатронных систем управления. Существующие на предприятиях, включая ОАО «ВЗЭП», методы проверки функциональных параметров таких узлов преимущественно основаны на ручном труде регулировщиков и сборщиков. Как показал анализ, трудоёмкость ручной проверки составляет от 11,7% до 44,3% от общих затрат на изготовление прибора, что является критически высоким показателем. Ручные методы не только малопродуктивны (производительность 1,2–6,5 шт./час.), но и подвержены влиянию человеческого фактора, что ведет к риску пропуска брака и снижению надежности конечной продукции. В Республике Беларусь и за рубежом отсутствуют серийные аналоги автоматизированных стендов, адаптированных для комплексной проверки всего разнообразия электронных и мехатронных узлов автотракторной техники (приборы с стрелочной и матричной индикацией, с механическими органами управления, с цифровыми каналами связи). Таким образом, существует актуальная научно-техническая проблема, заключающаяся в отсутствии эффективных, точных и воспроизводимых средств автоматизированного контроля, что сдерживает повышение качества, производительности и конкурентоспособности отечественного приборостроения.

Все электронные и мехатронные узлы, изготавливаемые на ОАО «ВЗЭП» с учетом их устройства можно разделить на три категории по возможным подходам к способам автоматизации их проверки: измерительно-информационные приборы с матричной и стрелочной формой отображения информации; информационно-управляющие панели и пульта с механическими элементами управления; измерительно-управляющие приборы с информационными каналами обмена данными и без них.

Необходимость проведения данной НИР обусловлена следующими факторами:

технологическая необходимость: переход от ручного, субъективного контроля к объективному автоматизированному для исключения человеческого фактора как источника брака.

Экономическая целесообразность: планируемое повышение производительности проверки в 4-6 раз (с 3,6 до 18,0 шт./час в среднем) позволит значительно снизить себестоимость изготовления узлов, высвободить трудовые ресурсы и повысить общую рентабельность производства.

Повышение конкурентоспособности: гарантированное качество и надежность продукции являются ключевым аргументом на рынке поставок для ведущих производителей автотракторной техники (ОАО «МАЗ», ОАО «МТЗ», ПАО «КамАЗ» и др.).

Импортозамещение и инновационное развитие: создание отечественного комплекса программно-технических средств соответствует целям государственных программ по цифровизации промышленности и развитию роботизированных комплексов.

Разработка направлена на создание трех специализированных стендов автоматизированной проверки (САП) с мировой научно-технической новизной:

- САП-1: для проверки узлов со стрелочной и матричной индикацией с использованием систем технического зрения.
- САП-2: для проверки узлов с механическими органами управления с применением программируемых манипуляторов.
- САП-3: для проверки узлов с аналоговыми/цифровыми каналами ввода-вывода и информационными шинами.

Планируемый уровень характеризуется комплексной автоматизацией всего цикла проверки, многоместностью (параллельное тестирование нескольких изделий), интеграцией ПО нижнего (аппаратный уровень) и верхнего уровня (пользовательский интерфейс, управление), а также адаптируемостью под различные типы изделий.

Были проведены патентные исследования, которые показали:

- Прямые аналоги разрабатываемых комплексных стендов на рынке отсутствуют.
- Научно-технологическая база защищена действующими патентами РБ № 13628 от 23.04.2008 «Способ автоматической поверки стрелочного измерительного прибора с матричной системой отображения информации и устройство для его осуществления» и № 24365 от 28.09.2022 «Автоматизированный стенд для тестирования функциональных состояний мехатронного узла техники и способ тестирования функциональных состояний мехатронного узла техники».

- Вывод: патентная чистота разрабатываемых САП-1, САП-2, САП-3 подтверждена, препятствий для их разработки, изготовления и применения на территории Республики Беларусь нет. Работа имеет изобретательский уровень.

Метрологическое обеспечение работ заложено в календарном плане и включает:

разработку и согласование технических заданий (ТЗ) на ПО нижнего и верхнего уровня, обеспечивающих заданную точность измерений и управления.

Разработку структурных и функциональных схем аппаратной части, определяющих метрологические характеристики измерительных каналов.

Использование при создании стендов образцовых и стандартизированных средств измерений для формирования калиброванных испытательных сигналов.

Проведение испытаний макетных образцов и корректировку ПО по их результатам, что является итерационным процессом верификации и валидации метрологических характеристик системы.

Актуальность работы определена острой производственной потребностью в автоматизации контроля для снижения издержек и повышения качества в условиях цифровой трансформации промышленности.

Научная и техническая новизна заключается в разработке и интеграции уникальных программно-аппаратных решений для трех классов изделий, защищенных патентами, и в создании адаптивного многофункционального комплекса.

Внедрение разработанных программно-технических средств позволит:

повысить производительность контроля в 4–6 раз.

Снизить себестоимость проверки на 75–80%.

Исключить влияние человеческого фактора.

Обеспечить объективность результатов контроля.

Повысить конкурентоспособность выпускаемой продукции.

1 Средства реализации аппаратно-программных и программных блоков с учетом максимального быстродействия и надежности

1.1 Функциональная схема стенда САП-1 для проверки ЩП-8156

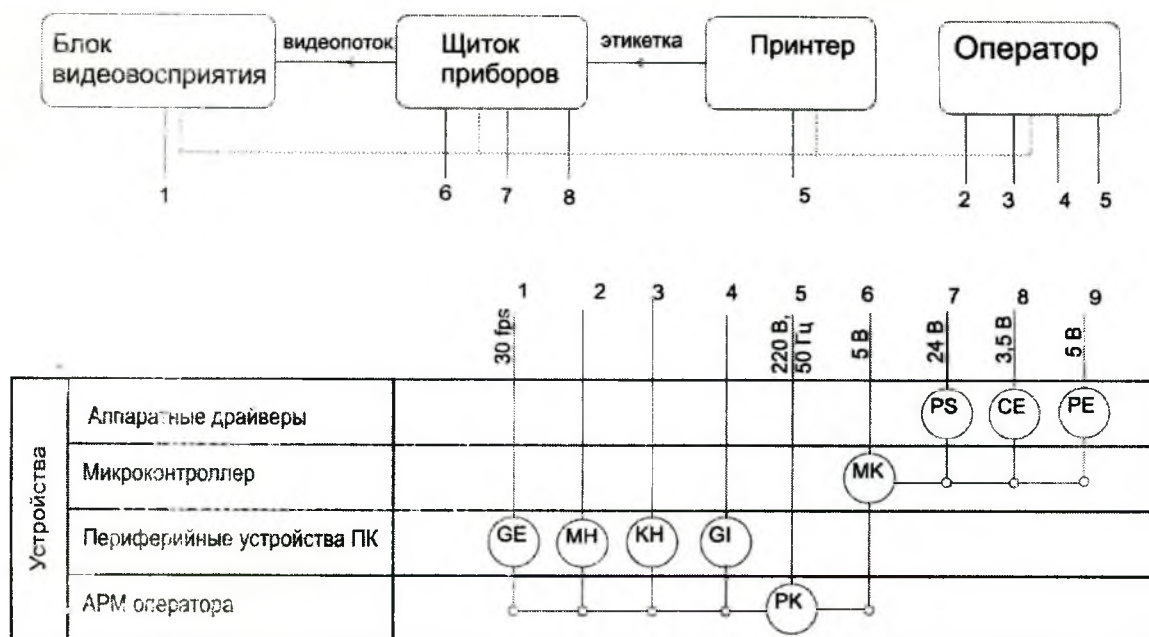


Рисунок 1.1 – Функциональная схема стенда САП-1 для проверки ЩП-8156

Позиция	Наименование, техническая характеристика приборов и устройств	Кол-во
1	2	4
ПК	Персональный компьютер	1
GI	Монитор	1
GE	Видеокамера	1
МК	Микроконтроллер	1
КН	Клавиатура проводная с интерфейсом USB	1
МН	Проводной оптический манипулятор (мышь) с интерфейсом USB	1
PS	Блок питания	1
CE	Драйвер CAN	1
PE	Драйвер блока питания	1

Стенд (рис. 1.1) состоит из: блока формирования сигналов (калибратора сигнала скорости и программно-управляемого источника напряжения питания), блока восприятия информации (видеоблок и конвертер аналоговых сигналов), системного блока персонального компьютера (ПК) для подачи, обработки сигналов, формирования и хранения базы данных, принтера, стола стенда.

Системный блок ПК содержит необходимые интерфейсы для подключения монитора (HDMI), клавиатуры и мыши (USB), камеры видеонаблюдения (USB), микроконтроллера (USB), принтера для печати этикеток (USB).

Щитки (блоки электронные) подключаются к стенду посредством разъемов. Управление щитком производится посредством CAN – интерфейса от микроконтроллера

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пат. 13628 Республика Беларусь. Способ автоматической поверки стрелочного измерительного прибора с матричной системой отображения информации и устройство для его осуществления / Алексеев А. Н., Зиновенко В. С., Колпаков В. И., Мозжаров С. Е., Сакевич В. Н. ; заявитель Открытое акционерное общество «Витебский завод электроизмерительных приборов». — № a20060430 ; заявл. 10.04.2006 ; опубл. 23.04.2008 // Официальный бюллетень «Изобретения. Полезные модели». — 2008. — № 2. — С. 8–11.
2. Пат. 24365 Республика Беларусь, МПК G01R 35/00 (2006.01). Автоматизированный стенд для тестирования функциональных состояний мехатронного узла техники и способ тестирования функциональных состояний мехатронного узла техники / Колпаков В. И., Зиновенко В. С., Федюков В. С., Сакевич В. Н., Кириллов А. Г., Бувевич Т. В., Семенчуков А. А. ; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «Витебский завод электроизмерительных приборов» (BY). — № a20220230 ; заявл. 28.09.2022 ; опубл. 05.09.2024 // Официальный бюллетень «Изобретения. Полезные модели». — 2024. — № 5. — С. 12–15.
3. Gonzalez, R. C., & Woods, R. E. (2018). Digital Image Processing. Pearson. - 832 p.
4. Jain, A. K. (2020). Fundamentals of Digital Image Processing. Prentice Hall. - 569 p.
5. Bradski, G., & Kaehler, A. (2018). Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library. O'Reilly Media. - 555 p.
6. Szeliski, R. (2010). Computer Vision: Algorithms and Applications. Springer. - 812 p.
7. Forsyth, D. A., & Ponce, J. (2012). Computer Vision: A Modern Approach. Pearson. - 792 p.
8. Sonka, M., Hlavac, V., & Boyle, R. (2014). Image Processing, Analysis, and Machine Vision. Cengage Learning. - 928 p.
9. Криушичев, А.В. Основы технического зрения: Учебное пособие. - СПб.: Университет ИТМО, 2017. - 120 с.
10. Яковлев, А.В. Системы технического зрения: Учебное пособие. - СПб.: Университет ИТМО, 2016. - 90 с.
11. Безобразов, С.В. Математические методы обработки изображений в задачах технического зрения. - Минск: Белорусский государственный университет, 2019. - 184 с.

12. ESP32 datasheet [Электронный ресурс]. URL:https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf (дата обращения: 10.08.2021).
13. Espressif Systems. ESP32 Technical Reference Manual [Электронный ресурс]. URL:https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual_en.pdf (дата обращения: 10.08.2021).
14. Getting Started with the ESP32 Development Board [Электронный ресурс]. URL:<https://randomnerdtutorials.com/getting-started-with-esp32/> (дата обращения: 10.08.2021).
15. Greig, A. Getting Started with ESP32 [Электронный ресурс]. URL:<https://www.packtpub.com/product/getting-started-with-esp32/9781838826081> (дата обращения: 10.08.2021).
16. Horvath, A. ESP32-CAN-Driver [Электронный ресурс]. URL:<https://github.com/ardnew/ESP32-CAN-Driver> (дата обращения: 10.08.2021).
17. Introduction to CAN [Электронный ресурс]. URL:<https://www.corelis.com/education/tutorials/controller-area-network-overview/> (дата обращения: 10.08.2021).
18. Introduction to ESP32 Architecture and Development [Электронный ресурс]. URL: <https://www.electronicwings.com/nodemcu/introduction-to-esp32-architecture-and-development> (дата обращения: 10.08.2021).
19. Marton, D. Explore The Basics Of CAN Communication (Controller Area Network) [Электронный ресурс]. URL:[https://www.electronicwings.com/nodemcu/explore-the-basics-of-can-communication-\(controller-area-network\)](https://www.electronicwings.com/nodemcu/explore-the-basics-of-can-communication-(controller-area-network)) (дата обращения: 10.08.2021).
20. Motti, M. Mastering the ESP32 [Электронный ресурс]. URL: https://leanpub.com/mastering_esp32 (дата обращения: 10.08.2021).
21. Programming ESP32 with Arduino IDE [Электронный ресурс]. URL: <https://lastminuteengineers.com/programming-esp32-arduino-ide/> (дата обращения: 10.08.2021).
22. Roberge, L. Mastering the ESP32: 2nd Edition [Электронный ресурс]. URL: <https://leanpub.com/masteringtheesp32-2ndedition> (дата обращения: 10.08.2021).
23. Smith, J. ESP32 CAN Controller Driver Integration [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ti.com/lit/an/spraao3/spraao3.pdf> (дата обращения: 10.08.2021).
24. The Official ESP32 Book [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/get-started/> (дата обращения: 10.08.2021).

25. Willis, B. ESP32 Programming with CAN BUS Shield [Электронный ресурс]. URL: <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/esp32-can-bus-shield-interface> (дата обращения: 10.08.2021).

26. Галкин, С. Программирование микроконтроллера ESP32 на русском языке [Электронный ресурс]. URL: https://smart-led.tech/b/V8mcCq_r/programmirovanie-esp32-na-russkom-yazyke (дата обращения: 10.08.2021).

27. Карпов, Н. ESP32: Руководство по программированию микроконтроллера [Электронный ресурс]. URL: <https://book.ridi.ru/book/2291978> (дата обращения: 10.08.2021).