

УДК 004.93'1

## ОБОБЩЕННАЯ АРХИТЕКТУРА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЕМ КОНТРОЛЯ КРИТИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ НА БАЗЕ СИСТЕМ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ



**С.М. Аваков**

Генеральный директор  
управляющей компании ОАО  
«Планар», доктор технических  
наук, доцент



**А.А. Дудкин**

Заведующий лабораторией  
идентификации систем  
ОИПИ НАН Беларуси,  
доктор технических наук,  
профессор

**В.М. Рышко**

Инженер-технолог, первой  
категории ОАО «Планар»



**А.А. Воронов**

старший научный сотрудник  
лаборатории идентификации  
систем ОИПИ НАН Беларуси,  
кандидат технических  
наук, доцент



**В.В. Ганченко**

старший научный  
сотрудник лаборатории  
идентификации систем  
ОИПИ НАН Беларуси,  
кандидат технических наук



**В.Г. Шоломицкий**

Заместитель главного  
инженера ОАО «Планар»

Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, Республика Беларусь  
Управляющая компания ОАО «Планар», Республика Беларусь  
E-mail: [doudkin@lsi.bas-net.by](mailto:doudkin@lsi.bas-net.by), [voronov@lsi.bas-net.by](mailto:voronov@lsi.bas-net.by), [ganchenko@lsi.bas-net.by](mailto:ganchenko@lsi.bas-net.by), [office@kbtcm.by](mailto:office@kbtcm.by)

### **С.М. Аваков**

Генеральный директор управляющей компании ОАО "Планар", д.т.н., доц. Проводит научные исследования для разработки оборудования автоматического контроля топологии.

### **А.А. Дудкин**

Заведующий лабораторией идентификации систем Объединенного института проблем информатики НАН Беларуси, д.т.н., проф. Проводит научные исследования в области цифровой обработки изображений, распознавания образов, систем автоматизированного проектирования больших интегральных схем.

### **А.А. Воронов**

Старший научный сотрудник лаборатории идентификации систем, к.т.н., доц. Проводит научные исследования в области цифровой обработка сигналов, нейросетевой обработки данных, архитектур систем высокопроизводительной обработки информации

### **В.В. Ганченко**

Старший научный сотрудник лаборатории идентификации систем, к.т.н. Проводит научные исследования в области цифровой обработка изображений, распознавания образов, моделирования систем высокопроизводительной обработки информации

**В.М. Рымко**

*Инженер-технолог первой категории ОАО «Планар». Проводит научные исследования для разработки оборудования автоматического контроля топологии.*

**В.Г. Шоломицкий**

*Заместитель главного инженера ОАО «Планар», начальник отдела. Проводит научные исследования для разработки оборудования автоматического контроля топологии.*

**Аннотация.** В данной работе описываются функции и структура программного комплекса управления оборудованием контроля критических размеров на базе систем машинного зрения. Описаны преимущества разработанной архитектуры, а также ее использование для решения задач анализа изображений микросхем с помощью оборудования автоматического контроля топологии. Применение описанной архитектуры программного комплекса позволяет эффективно идентифицировать дефекты, что особенно важно для разработки программного обеспечения установок контроля топологии СБИС по субмикронным нормам.

**Ключевые слова:** Обработка изображений, СБИС, автоматический контроль топологии, архитектура программного комплекса, контрольно-измерительное оборудование, компьютерное зрение.

**Введение.**

В настоящее время автоматический контроль и исправление дефектов полупроводниковых пластин уже достаточно широко применяется в микроэлектронике [5]. Актуальной задачей при разработке и выпуске конкурентоспособных наукоемких изделий микроэлектроники является создание современной научно-технической и производственно-технологической базы производства: интегральных микросхем и полупроводниковых приборов, спроектированных по субмикронным нормам, а также оптико-механического, контрольно-измерительного и сборочного оборудования.

Обновление технологического потенциала электронного машиностроения является основой для повышения конкурентоспособности других отраслей народного хозяйства. Современные средства разработки электронных схем направлены на сокращение времени освоения и запуска в производство новых изделий, а также на понижение стоимости цифровой аппаратуры при ее массовом производстве. Такую возможность и обеспечивает технологическая база, в том числе системы машинного (технического) зрения, которые являются составной частью современной технологии проектирования и производства ИС.

В связи с переходом на субмикронные нормы проектирования и усложнением самих ИС возникает необходимость решения задач обработки, хранения, приема и передачи больших объемов данных с использованием современных интерфейсов, для чего требуется разработка оригинальных подходов, методов и алгоритмов цифровой обработки изображений, оптических методов и приборов контроля технологических процессов, компьютерных методов и алгоритмов анализа получаемых в литографическом процессе данных, позволяющих в полной мере соответствовать условиям субмикронного производства, обеспечивать качественную отработку процессов фотолитографии при изготовлении СБИС и сокращение стоимости производства.

В качестве объекта исследования выступает процесс контроля оборудованием критических размеров на изображениях фотошаблонов и слоев СБИС, получаемых средствами видеозахвата.

Обработка заключается в анализе и измерении различного рода элементов изображений, формировании отчетов по результатам анализа, управлении системой фокусировки, координатным столом и другими внешними устройствами, а также синтезе программы для автоматического режима работы программного комплекса управления оборудованием контроля критических размеров (ПК УОККР).

**Основные функции программного комплекса.**

Программный комплекс управления оборудованием контроля критических размеров на базе систем машинного зрения обеспечивает выполнение следующих функций: предобработка изображений с учетом конструкторско-технологических ограничений; обработка и анализ изображений с поддержкой оборудования видеозахвата сторонних производителей; анализ изображений для контроля конструкторско-технологических ограничений; хранение и доступ к данным с возможностью импорта и экспорта данных в различных форматах; синтезатора

программы для автоматического режима работы; управление механизмами сторонних производителей; визуализация данных.

Главными зарубежными аналогами предлагаемого ПК УОККР являются программные комплексы Olympus MicroSuite FIVE компании Olympus Corporation (Japan) и NIS-Elements Microscope Imaging Software компании Nikon Instruments Inc. (USA). Аналоги установок контроля критических размеров и их примерная стоимость: LEICA LWM 250 UV- 4,8 млн. долл., KLA Tencor IPRO4 – 5 млн. долл.

Прецеденты или варианты использования можно условно разделить на основные и вспомогательные. Основными прецедентами использования ПК УОККР являются: загрузка объекта исследования (полупроводниковой пластины или фотошаблона) – подготовка объекта исследования для дальнейшей работы (предварительная ориентация в пространстве, перемещение в рабочую зону); выгрузка объекта исследования – удаление объекта исследования из рабочей зоны в хранилище (контейнер, кассету); инициализация установки и базирование механизмов – загрузка в установку данных, описывающих исходное состояние оборудования для решения конкретной задачи, и установка механизмов в соответствующее состояние/положение; управление перемещениями координатного стола – формирование обобщенных команд для управления движением координатного стола; совмещение и ориентация – привязка системы отсчета и координатной системы объекта к координатной системе установки; контроль и измерение размеров – запуск алгоритмов контроля и измерения размеров; автоматическое измерение – запуск алгоритмов автоматического измерения размеров; определение размеров элементов – запуск алгоритмов определения размеров изображения; управление механизмами – подготовка команд управления оборудованием (метакоманд) и соответствующих параметров; формирование управляющих команд – преобразование метакоманд в формат, требуемых тем либо иным микроконтроллером управления оборудованием; создание программы контроля и измерений для автоматического режима – формирование списка управляющих воздействий с соответствующими параметрами и их сохранение в виде файла либо записи в базе данных; создание карты-структуры объекта (объектом может служить как пластина, так и шаблон) – подготовка описания структуры объекта для дальнейшего его исследования (кадры, модули); сохранение результатов контроля и измерений – компоновка результатов работы ПК в структуру, предназначенную для дальнейшего хранения в базе данных и последующее сохранение полученного блока данных с использованием СУБД. Вспомогательные прецеденты (идентификация пользователя) требуется для разграничения доступа к функциональности ПК.

#### **Архитектура ПК УОККР.**

ПК УОККР состоит из нескольких систем, одна из них система обработки и анализа изображений. Архитектура системы обработки и анализа изображений может быть описана в виде диаграммы её компонентов, которая представлена на рисунке 1.

Данная диаграмма описывает состав и взаимосвязи модулей системы обработки и анализа изображений: модуля управления, который предназначен для выбора заданных параметрами реализаций алгоритмов и координации взаимодействия модулей; для функционирования использует данные, получаемые от источника команд CommandSource; модуля загрузки изображений, который используется для получения отдельных изображений из источника изображений IFrameSource; модуля загрузки динамических библиотек, который осуществляет загрузку динамически загружаемых библиотек, содержащих реализации различных алгоритмов обработки и анализа изображений, а также предоставляет обобщенный интерфейс доступа к загруженной функциональности; реализации алгоритмов обработки изображений – набор реализованных алгоритмов обработки изображений, алгоритмов, загружаемых из динамически загружаемых библиотек, а также интерфейсный алгоритм обработки, позволяющий вызывать различные алгоритмы последовательно; модуля обработки изображений, вызывающего выбранную реализацию алгоритма обработки изображений (либо их цепочку); модуля анализа изображений, предназначенного для анализа обработанных изображений и передачи результатов анализа модулю сохранения результатов обработки IProcessingResultStorage.

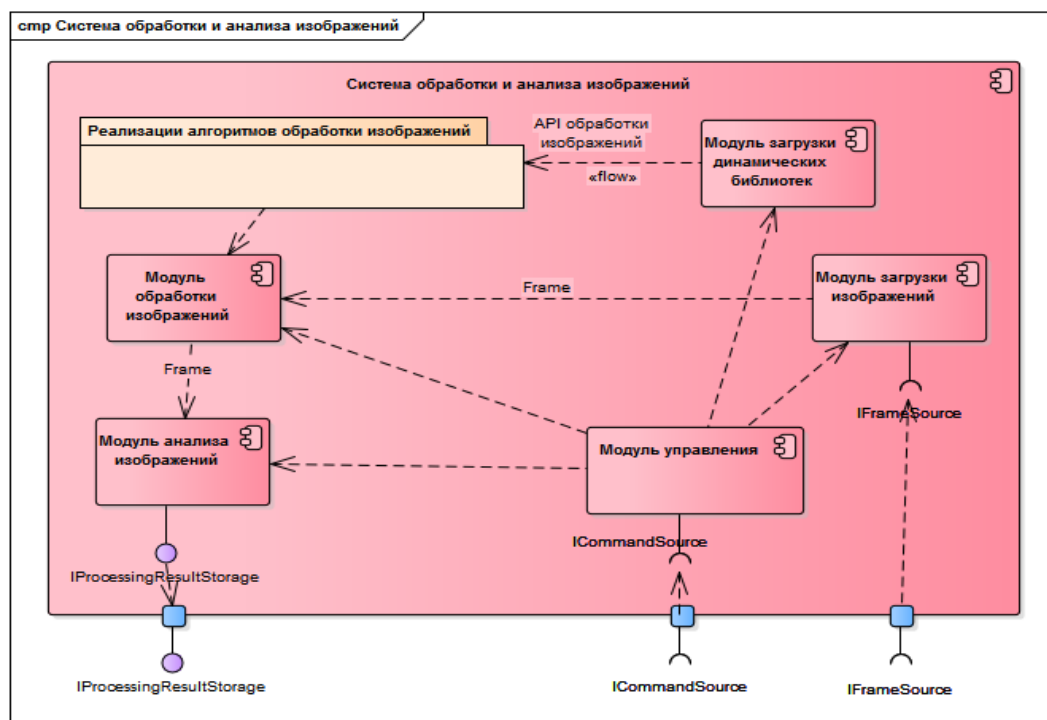


Рисунок 1. Архитектура системы обработки и анализа изображений

Возможность использования динамически загружаемых библиотек обеспечивает совместимость системы с алгоритмами обработки изображений, которые будут реализованы в виде таких библиотек. Таким образом, в разрабатываемой системе возможно использование следующих алгоритмов обработки изображений [1-10]: ContrastCorrection; GammaCorrection; Invertion; LaplaceFiltration; MeanFiltration; MedianFiltration; MorphologicalClosing; MorphologicalDilatation; MorphologicalErosion; MorphologicalOpen-ing; ThresholdBinarization.

Функционирование системы осуществляется согласно обобщённого алгоритма, шаги которого приведены далее.

Шаг 1. Загрузка параметров работы из источника команд ICommandSource.

Шаг 2. Загрузка динамических библиотек.

Шаг 3. Подготовка требуемых для обработки реализаций алгоритмов



Шаг 4 Если изображения в источнике IFrameSource еще доступны, то переход на шаг 5, иначе переход на шаг 10.

Загрузка изображение из источника.

- 1) Обработка изображения выбранным алгоритмом/алгоритмами.
- 2) Анализ обработанного изображения.
- 3) Сохранение результата анализа в хранилище результатов IProcessingResultStorage.
- 4) Переход на шаг 4.
- 5) Завершение работы.

Как уже ранее отмечалось программный модуль обработки и анализа изображений, как и все элементы ПК УОККР, должен представлять собой набор динамически загружаемых библиотек, содержащих поддерживаемые функции. Диаграмма классов разрабатываемой системы представлена на рисунке 2.

На диаграмме приведены следующие классы:

- интерфейсы: IFrameProcessor – интерфейс реализаций алгоритмов обработки изображений; IFrameAnalyser – интерфейс реализаций алгоритмов анализа изображений; IFrameProcessingAndAnalysisTool – интерфейс модуля управления;
- классы данных: FrameProcessingState – результат обработки изображений; FrameAnalysisResult – результат анализа изображений; ProcessingAndAnalysis-ResultsContainer – совмещенный результат обработки и анализа изображений;
- фабрики классов: FrameProcessorFabric – фабрика алгоритмов обработки изображений; FrameAnalyserFabric – фабрика алгоритмов анализа изображений; FrameProcessingAndAnalysisToolFabric – фабрика реализаций модуля управления;
- цепочки обработки/анализа: FrameProcessorChainProхy – цепочка алгоритмов обработки изображений; FrameAnalyserChainProхy – цепочка анализа обработки изображений; FrameProcessingAndAnalysisTool – реализация модуля управления; DynamicLibraryLoader – модуль загрузки динамически загружаемых библиотек; DynamicLibraryLoader: Handle – дескриптор загруженной динамической библиотеки (класс является подклассом класса DynamicLibraryLoader);
- классы, реализующие алгоритмы обработки изображений: ContrastCorrection-FrameProcessor – коррекция контраста; GammaCorrectionFrameProcessor – гамма-коррекция; InvertionFrameProcessor – инвертирование по цвету; LaplaceFiltration-FrameProcessor – фильтр Лапласа; MeanFiltrationFrameProcessor – усредняющий фильтр; MedianFilterationFrameProcessor – медианный фильтр; Morpho-logicalClosingFrameProcessor – морфологическое замыкание; MorphologicalDilatation-FrameProcessor – морфологическая дилатация; MorphologicalErosionFrameProcessor – морфологическая эрозия; Morphological-OpeningFrameProcessor – морфологическое отмыкание; ThresholdBinarizationFrame-Processor – пороговая бинаризация.

Для обеспечения выполнения основных функций должен включать реализацию ряда систем и подсистем: система обработки и анализа изображений, включающая подсистему видеозахвата для получения и подготовки данных к использованию; система управления для функционального связывания других систем и подсистем; система управления механизмами для генерации команд управления установками; графический интерфейс пользователя для осуществления пользователем контроля функционирования; подсистема взаимодействия с СУБД для хранения результатов контроля и измерений; подсистема формирования программы контроля и измерений для подготовки описаний конфигураций функционирования, используемых в автоматическом режиме работы. Помимо этого, каждая из систем должна быть реализована с достаточно высоким уровнем абстракции для обеспечения единообразного функционирования при использовании различного оборудования видеозахвата и оборудования управления установкой.

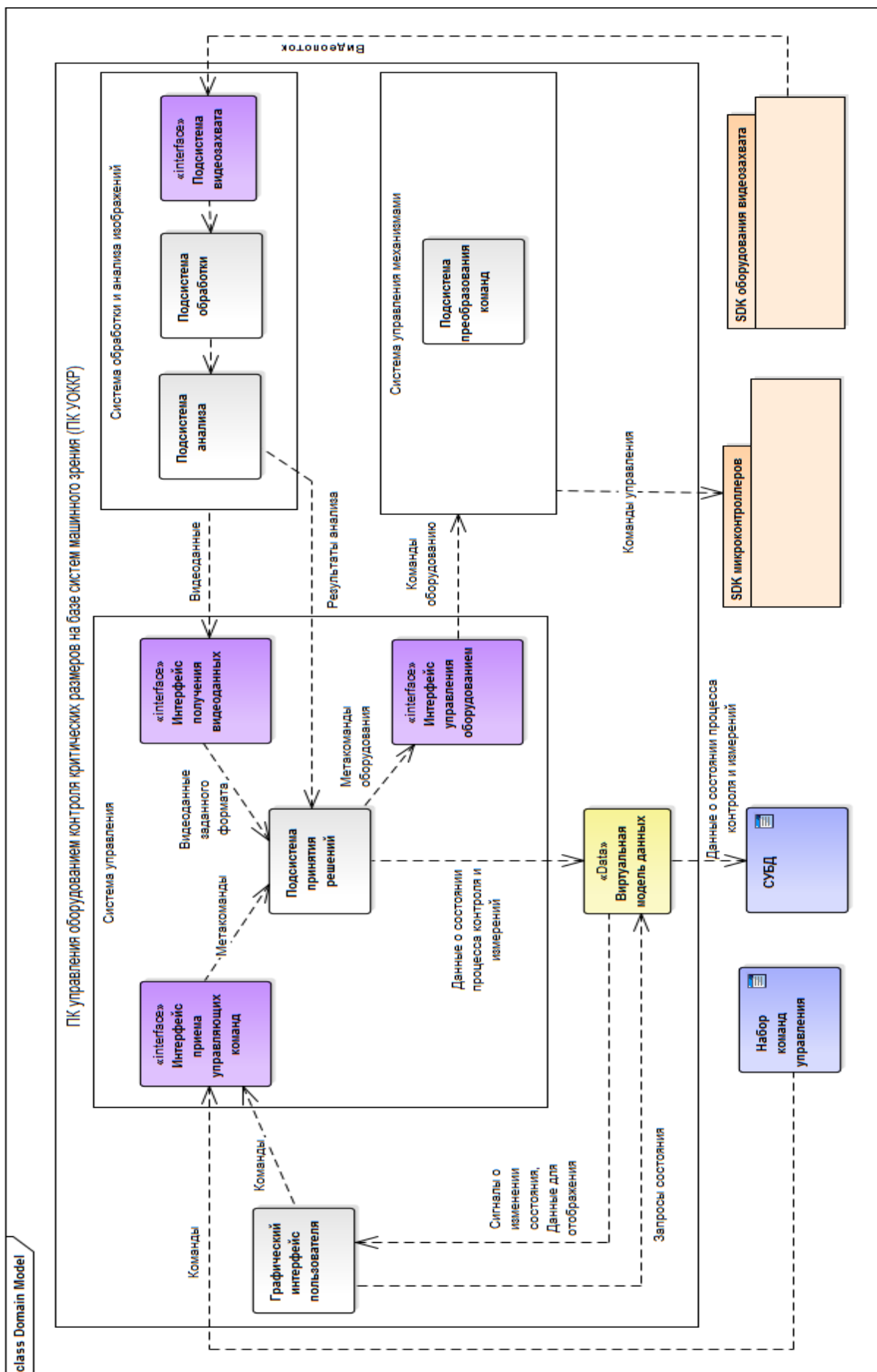


Рисунок 3. Архитектура ПК УОЖКР

При выборе шаблона архитектуры использовали следующие критерии для ПК УОККР: модульность; открытость; конфигурируемость; разделение графического интерфейса пользователя и функциональности.

Наиболее удобным шаблоном исходя из перечисленных критериев является MVC, та как шаблон MVC с некоторыми доработками позволяет учесть требования в архитектуре ПК УОККР: система управления должна иметь возможность получать команды из нескольких источников – добавляется интерфейс приема управляющих команд, в общем случае преобразующий конкретные команды в команды общего вида (метакоманды); система управления должна иметь возможность получать видеопоток из нескольких источников – добавляется интерфейс получения видеоданных, преобразующий различные форматы данных к единому формату; система управления должна иметь возможность передавать управляющие команды различным установкам – добавляется интерфейс управления оборудованием, принимающий команды управления оборудованием общего формата (метакоманды оборудования) и преобразующие к конкретному виду, реализована виртуальная модель данных, хранящая описание состояния процесса контроля параметров.

Разработанная архитектура ПК УОККР приведена на рисунке 3. Работа ПК УОККР представленной архитектуры осуществляется следующим образом:

- инициализация работы пользователем путем выдачи управляющих воздействий системе управления (через интерфейс пользователя или загрузки конфигурации для работы в автоматическом режиме);
- преобразование управляющих команд при необходимости;
- получение данных от оборудования видеозахвата подсистемой видеозахвата с использованием соответствующего SDK, преобразование данных для обработки;
- обработка и анализ данных соответствующими подсистемами;
- передача видеопотока и результатов анализа системе управления, при необходимости преобразование формата;
- выработка управляющих воздействий подсистемой принятия решений на основании полученных команд, видеоданных и результатов анализа;
- передача данных о процессе контроля в виртуальную модель данных;
- передача сигнала об изменении состояния модели от виртуальной модели данных графическому интерфейсу пользователя;
- запрос требуемых данных графического интерфейса пользователя у виртуальной модели данных и их получение;
- передача подсистемой принятия решения команд управления оборудованию через соответствующий интерфейс, систему управления механизмами и соответствующий SDK;
- сохранение результатов контроля и измерений в базе данных.

#### **Заключение.**

Разработана обобщенная архитектура программного комплекса управления оборудованием контроля критических размеров на базе систем технического зрения, которая позволяет работать с большими объемами входных данных и легко адаптируется под конкретное оборудование. Существенным преимуществом оборудования, управляемого ПК УОККР и разрабатываемого ОАО «Планар» для производства СБИС, перед зарубежными аналогами является то, что оно проектируется на единой конструкторско-технологической базе, реализуя полную аппаратную, программную и метрологическую совместимость всего комплекта установок, работающих в едином технологическом цикле для воплощения в кремнии критических технологий микроэлектронной промышленности.



### Список литературы

- [1] Гонсалес, Р. Мир цифровой обработки. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс – М.: Техносфера, 2005.– 660 с.
- [2] Старовойтов, В.В. Локальные геометрические методы цифровой обработки и анализа изображений / В.В. Старовойтов. – Минск : Ин-т техн. кибернетики, 1997. – 282 с.
- [3] Теоретические основы цифровой обработки изображений : Учеб. пособие / В.А. Сойфер [и др.] – Самара : СГАУ, 2000. – 255 с.
- [4] Дудкин, А.А. Алгоритм сшивки кадров слоя топологии СБИС по ключевым точкам / А.А.Дудкин, А.А.Воронов, Е.Е.Марушко // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2015. – № 5 (94): Физика, математика, информатика. – С. 11-14.
- [5] Технологические комплексы интегрированных процессов производства изделий электроники. / А.П. Достанко, С.М. Аваков, О.А.Агеев, М.П. Батура и др. – Минск «Беларуская Навука», июнь 2016, 251 с.
- [6] Фаулер, М. Архитектура корпоративных программных приложений / М. Фаулер. – М. : Изд. дом «Вильямс», 2006. – С. 43-79.
- [7] Крэг, Л. Применение UML 2.0 и шаблонов проектирования / Л. Крэг. – Изд. 3-е. – М. : : Изд. дом «Вильямс», 2013. – С. 29-153.
- [8] Приемы объектно-ориентированного проектирования / Г. Эрех [и др.]. – СПб. : Изд. дом «Питер», 2015. – 368 с.
- [9] Предметно-ориентированное проектирование (DDD): структуризация сложных программных систем / Эрик Эванс. – М.: «Вильямс», 2011. – 448 с.
- [10] Идеальная архитектура. Ведущие специалисты о красоте программных архитектур. – Пер. с англ. / Д. Спинеллис, Г. Гусиос. – СПб.: Символ-Плюс, 2010 – 528 с.

## GENERAL DESIGN OF SOFTWARE CONTROL SYSTEM FOR EQUIPMENT OF CRITICAL SIZES INSPECTION ON THE BASIS OF COMPUTER VISION

**S. AVAKOV**

*Doctor of Computer Sciences, Ass.  
Prof., Director of Planar JSC  
(Managing Company)*

**A. DOUDKIN**

*Doctor of Computer Sciences,  
Professor, Head of the laboratory of  
System Identification of the United  
Institute of Informatics Problems the  
National Academy of Sciences of  
Belarus*

**V. RYMKO**

*Process Engineer of  
Planar JSC  
(Managing Company)*

**A. VORONOV**

*Ph.D., Ass. Prof., Senior Researcher,  
Laboratory of System Identification of  
the United Institute of Informatics  
Problems of the National Academy of  
Sciences of Belarus*

**V. GANCHENKO**

*Ph.D., Senior Researcher, Laboratory of  
System Identification of the United  
Institute of Informatics Problems of the  
National Academy of Sciences of  
Belarus*

**V. SHOLOMICKI**

*Deputy Chief Engineer of  
Planar JSC  
(Managing Company)*

*United Institute of Informatics Problems the National Academy of Sciences of Belarus, Republic of Belarus  
Planar JSC (Managing Company), Republic of Belarus  
E-mail: doudkin@lsi.bas-net.by, voronov@lsi.bas-net.by, ganchenko@lsi.bas-net.by, office@kbttem.by*

**Abstract.** This paper describes the functions and the architecture of software control system for equipment of critical sizes inspection of integrated circuit layouts on the basis of computer vision. The advantages of the developed architecture are described, as well as its application for image processing of integrated circuit layouts. The system allows identifying effectively defects what it is especially important for VLSI manufacturing based on submicron technology.

**Keywords:** image processing, VLSI, automatic layout inspection, software complex architecture, control and measurement equipment, computer vision.