

Российская Академия Наук  
ОРДЕНА ЛЕНИНА ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ  
им. М.В. Келдыша

А.А. Кирильченко, А.А. Петрин

СВОЙСТВО ВИРТУАЛЬНОСТИ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ  
РОБОТОТЕХНИКИ

Москва, 2003 г.

Кирильченко А.А., Петрин А.А. Свойство виртуальности в информационных системах робототехники.

## АННОТАЦИЯ

Рассмотрено использование свойства виртуальности в информационных системах робототехники. Приведены примеры реализации в информационных системах концепции виртуального датчика.

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ: 00-01-00403, 00-15-96135, 02-01-00750, 02-07-90-425, 02-61-00-671.
--

Kiril'chenko A.A., Petrin A.A. The property of virtual in robotics information systems.

## ABSTRACT

The property of virtual sensing in robotics information systems is treated. Different examples of virtual sensor concept in such fields are used.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение.....	3
1. Свойства виртуальности в информационных системах.....	5
2. Виртуальные датчики в системе управления мобильных роботов.....	6
3. Виртуальные датчики в системе управления установкой выращивания кристаллов.....	7
4. Виртуальные датчики в системе неразрушающего контроля.....	9
5. Заключение.....	9
Литература.....	9
Иллюстрации.....	12
Список сокращений.....	23

## ВВЕДЕНИЕ.

Виртуальные датчики (ВД) [1-3], являются обобщением понятия логического датчика [1] и вычислительного модуля. В каждом ВД, наряду с сенсорными, выполняются вычислительные операции. Непосредственно сенсорные операции ВД может и не выполнять, а использовать информацию, полученную от других ВД. Нижний уровень составляют физические датчики (ФД). На следующем уровне расположены ВД – драйверы, обеспечивающие настройку на конкретные типы ФД (возможно с некоторой предварительной обработкой информации). Это позволяет при программировании верхнего уровня системы управления не учитывать специфики уровня ФД. Эффективность подобного представления рассматривается на примерах организации управления мобильным роботом, установкой выращивания кристаллов и системы неразрушающего контроля металлической ленты.

Среди основных типов ВД можно выделить следующие:

- ВД, осуществляющие фильтрацию информации (в т.ч. логические и пороговые перенастраиваемые фильтры),
- ВД - “инспекторы”, осуществляющие регистрацию изменений в заданном районе наблюдаемой среды,
- ВД - детекторы, регистрирующие появление заданного объекта или комбинации заданных характеристик среды,
- ВД – “обобщающие преобразователи”, которые по заданному описанию характеристик среды производят их свертку и обобщение с целью уменьшения количества информации, необходимой для принятия решения.

Концепция виртуальных датчиков, представленная в [2], является дальнейшим развитием концепции логических датчиков, предложенной Хендерсоном [1]. Она основана на том, что более выгодно использование подсистем, обладающих собственными встроенными элементами искусственного интеллекта. Это позволяет полнее обеспечить интерфейс с управляющей ЭВМ на высоком уровне абстрагирования знаний. При этом обеспечивается полный информационный обмен между супервизором и датчиками, которые не связаны с ним непосредственно. Такой подход подразумевает, что супервизор может координировать решение общей задачи управления при использовании различных типов датчиков и приводов.

Термин "виртуальные датчики" был введен в [2] с целью выявления аналогии между предложенной концепцией и виртуальными машинами, где функционирование системы не зависит от технической реализации. Например, виртуальные датчики могут, используя различные сенсорные комбинации, обеспечивать дополнительные функции очувствления по отношению к реализуемым физическим датчикам.

Данный подход получил отражение в области технологий интеллектуальных датчиков (smart-sensor), развиваемой IEEE. Получило развитие семейства стандартов по интерфейсам интеллектуальных преобразователей IEEE 1451, целью которых является внедрение технологии интеллектуальных преобразователей. Стандарты серии IEEE 1451 ищут пути упрощения взаимодействия интеллектуальных преобразователей (датчиков и приводов) через развитие стандартных интерфейсов [27].

Таким образом, подсистемы интеллектуальных датчиков и приводов обеспечивают сопряжение знаний низкого уровня, связанного с устройствами осязания, со знанием высокого уровня, совместимого с супервизором. Следовательно, формируется иерархия концептуальных уровней, нижний уровень которой составляют базисные концепции.

Априорная оценка надежности алгоритмов системы управления (СУ) промышленных роботов (ПР) и мобильных роботов (МР) определяется в основном составом предположений о характеристиках среды, эффективностью алгоритмов в случае выполнения этих предположений и характером поведения СУ ПР и МР в случае нарушения этих предположений. Одним из важных обстоятельств, здесь является выполнение условий согласования (УС) информационных и двигательных параметров МР, а также основных параметров среды [4-6].

Например, алгоритму информационного обеспечения движения МР соответствует несколько неравенств, связывающих функции параметров, характеризующих измеритель (высота положения, частоты сканирования, угловые скорости вращения блока обзора и т.п.), с параметрами, характеризующими движение робота (скорость движения, параметры участка пути и т.п.) и параметрами, характеризующими структуру и состояние среды (основные типы и характеристики препятствий и другие особенности). При выполнении этих неравенств гарантируется выполнение текущей информационно-двигательной задачи (обнаружение в движении препятствий заданных типов и размеров, слежение в движении за ориентиром и т.п.). В случае нарушения какого-либо из неравенств необходимо либо менять алгоритм, либо соглашаться с ухудшением качества и надежности работы СУ МР.

Учет УС является основополагающим на этапе проектирования информационной системы (ИС), т.е. при настройке на конкретный уровень ФД работа ИС должна происходить с учетом соответствующих УС.

Иерархии ВД соответствует иерархия моделей среды и, в случае мобильных роботов, иерархия соответствующих информационно-двигательных действий.

Следует отметить, что три характерные основные особенности информационной системы на базе ВД заключаются в следующем:

1. Виртуальный датчик как основной элемент ИС;
2. Эффективное обеспечение мультисенсорных систем на базе общего перенастраиваемого интерфейса;

3. Наличие механизма выбора конфигурации и реконфигурации информационной системы.

## 1. СВОЙСТВА ВИРТУАЛЬНОСТИ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ.

В каждом ВД выполняются вычислительные операции. Данные через многоканальный ввод поступают на вычислительное устройство или от ФД, или от других ВД. ВД имеет один выход для связи с другими ВД или супервизором. Вычислительный процесс, реализуемый ВД, может быть алгоритмическим или использовать базу знаний. В первом случае возможно осуществление предварительной обработки данных (например, логическая фильтрация), во втором - использование априорной информации о среде при выделении объектов. Таким образом, внутри самой ИС может осуществляться высокая степень интерпретации данных.

Универсальность ИС на основе ВД позволяет эффективно обеспечить единообразие управляющего интерфейса для различных типов приводов. Подобное активное ощущение является связующим звеном между датчиками и приводами и реализует единый подход к проблеме распознавания внешних воздействий.

В [2] концепция виртуальных датчиков развивается в контексте задачи проектирования интеллектуальной супервизорной системы для сборочных роботов. Исследования показали, что подобная система открывает большие потенциальные возможности для мультисенсорных сетей при создании системы активного ощущения, а также "исследовательского" ощущения для выделения экстренной информации в случае отказов, что достигается с помощью динамической перенастройки системы. В [3] рассмотрена аналогичная схема ИС для случая управления МР. Более подробно организация ИС будет рассмотрена ниже.

Основные типы ВД приведены в таблице 1. при этом первые шесть типов ВД взяты из работы [7], а остальные формализованы авторами по результатам работ [3, 8-10].

Следует отметить, что современное автоматизированное производство имеет в своем составе широко разветвленную сенсорную сеть [11]. Основные уровни иерархии (приведены в таблице 2) подобной сенсорной сети могут быть взяты как базовые в случае проектирования ИС на базе ВД.

Достаточно подробно отдельные аспекты виртуального производства рассматриваются в [23-25].

Свойства виртуальности используются в современных многоуровневых подсистемах диагностики в системе ЧПУ. Схема подобной подсистемы приведена на рис. 1 и, как отмечено в [12] она, в полной мере соответствует модели виртуальной машины.

При программной реализации ИС на основе ВД могут активно использоваться общие схемы объектно-ориентированного анализа и проектирования [13], которые представлены в таблице 3.

ИС на основе ВД имеет некоторые аналогии со структурой фрейм/агент (СФ/А) для мультисенсорной интеграции распределенной системы промышленных роботов (РСПр) [15]. Данный подход основан на асинхронном, координированном действии многих независимых программируемых процессоров, которые называются агентами и, которые отвечают концепции групповой архитектуры, т.е. общества агентов. Связь между агентами достигается через структуры данных коллективного пользования, называемых фреймами, которые поддерживают глобальные информационные требования, например, к взаимодействию операций робота в рабочей ячейке. В сенсорной системе РСПр имеются четыре основных компоненты: виртуальные сенсоры (аналог ВД), модуль присваивания обозначений (разметка), модуль слияния (объединения или синтеза) и модуль коррекция данных от сенсоров. Каждая компонента может заключать в себе некоторое число агентов. Система представлена в виде статических знаний в форме физических сенсорных моделей и объектных моделей.

В таблице 5 приведены выделенные авторами способы повышения на основе ВД надежности данных (этот тип датчиков входит в “классический” набор типов ВД, выделенных в работе [7]). Данная таблица получена на основе редакции с рассматриваемой в данной работе проблемной точки зрения таблицы способов повышения надежности, приведенной в [8].

## 2. ВИРТУАЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫХ РОБОТОВ.

На рис.2.1 и рис.2.2 приведены две блок-схемы ВД - детектора движущегося объекта. Задача выделения автономных и /или движущихся объектов является одной из основных в ИС МР или подводного аппарата [8]. Схема основана на вычислении изменения расстояния до объекта. Более надежная схема подобного ВД приведена в докладе [26].

Подобный подход достаточно широко может быть использован для организации ИС МР на основе лазерных дальномерных обзорно-информационных систем [3,4,9]. Проведены исследования [4,9], при которых информация о зоне обзора представляется в виде "иерархической карты" по схеме:

- выбранный проход,
- массив проходов,
- массив секторов обзора,
- массив признаков наличия препятствия в данном направлении.

При переходе от нижнего уровня к верхнему происходит обобщение информации: нескольким, подряд идущим по азимутальному направлению признакам нижнего уровня соответствует один признак верхнего уровня. Вначале, на уровне массива секторов, признак сектора обобщает наличие препятствия по признакам направления, попадающим в данный сектор, затем свободные от препятствий сектора обобщаются в проходы, из которых выбирается наилучший (по ширине или близости к целевому направлению). Каждой такой операции можно поставить в соответствие ВД. На нижнем уровне имеется последовательность измерений в зоне обзора от дальномера. Эта последовательность может быть полученной от единственного дальномера или от совокупности дальномеров. Выход из строя небольшой части ВД нижнего уровня не фатален, т.к. это ведет только к увеличению количества признаков препятствий, соответствующих "неисправным" направлениям. Подобная схема обработки информации реализуется в рамках ИС на основе использования типов ВД, указанных в таблице 1.

Три основных схемы обработки дальномерной информации, отработанных на различных макетах колесных и шагающих роботов [4,9], могут быть реализованы в рамках реконфигурируемой ИС, общая схема которой приведена на рис.3. При этом УС информационно-двигательных параметров МР, определяющие эффективность работы ИС по каждому из трех альтернативных путей, могут быть охарактеризованы таблицей 4. Общий алгоритм локального планирования движения при этом базируется на ВД обобщенной ситуации, определяем схемой, приведенной на рис.4.

Весьма перспективным представляется также использование ИС для выделения ориентиров на основе характерных наблюдаемых участков среды в рамках интерпретирующей навигации [14]. На рис.5 приведена простейшая классификация видимых вершин-ориентиров препятствий для двумерной постановки. Нетрудно показать, что все указанные четыре типа ориентиров выявляются на основе основных типов ВД, перечисленных в табл. 1.

### 3. ВИРТУАЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ УСТАНОВКОЙ ВЫРАЩИВАНИЯ КРИСТАЛЛОВ.

В последнее время все большее значение приобретают промышленные установки по выращиванию кристаллов [16-21].

Выращивание кристаллов происходит в закрытой камере. Схема используемых в установке физических датчиков (ФД) приведена на рис.6, где указаны шесть типов физических датчиков:

- ФД1 - определяет вес выращиваемого кристалла,
- ФД2 - определяет скорость роста кристалла (скорость подъема верхней части установки, в которой находится зародыш кристалла),
- ФД3 - определяет температуру в камере,

ФД4 - представляет собой телекамеру, на основе телеизображения определяется диаметр выращиваемого кристалла,

ФД5 - определяет угловую скорость тигля, из которого выращивается кристалл.

ФД6 - определяет угловую скорость вращения кристалла.

Данные от указанных физических датчиков используются следующим образом. Данные от ФД1 и ФД4 используются для коррекции значения скорости роста с целью поддержания постоянства диаметра. Данные от ФД2 используются для стабилизации заданного значения скорости роста кристалла. Данные от ФД3 используются для отработки заданного профиля значений температуры в камере. Значения ФД5 используются для поддержания заданной скорости вращения тигля. Значения ФД6 используются для поддержания заданной скорости вращения затравки с кристаллом.

Данные от указанных физических датчиков удовлетворяют следующим условиям согласования:

$$4 k P = \pi d^2 h \rho \quad (1)$$

$$d v = \text{const} \quad (2), \text{ где}$$

**k** - переводной коэффициент,

**P** - вес кристалла,

**d** - диаметр кристалла,

**h** - высота кристалла,

**v** - скорость роста кристалла.

Из (2) следует, что в линейном приближении вариации параметров принимают вид

$$\delta v = \frac{v \delta d}{d} \quad (3)$$

Аналогичным образом:

$$\delta P = \frac{\pi h \rho d}{2k} \delta d \quad (4)$$

Аналогичным образом определяются значение диаметра и изменение диаметра на основе видимого диаметра на изображении в пикселах.

Таким образом, для указанного производственного процесса можно построить СУ на основе ВД с использованием указанных выше типов датчиков и условий согласования. К вопросу о конкретизации схемы авторы намерены обратиться в дальнейших работах.

#### 4. ВИРТУАЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ В СИСТЕМЕ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ.

Система контроля качества металлической ленты содержит восемь вихретоковых датчиков, определяющих дефекты материала [22]. Датчики представляют собой излучающие и приемные катушки, в которых наводятся вихревые токи. На каждой приемной катушке наводится ЭДС, за счет которой меняется комплексное сопротивление катушки. Изменение комплексного сопротивления представляется годографом на комплексной плоскости. Сигналы от дефектов приводят к изменению вида годографа. При обработке данных в этой сенсорной сети используется пороговая и логическая фильтрация. В перспективе разрабатывается следующий уровень обработки информации, заключающийся в анализе формы наведенного сигнала в импедансной плоскости. Указанную ИС планируется реализовать на основе ВД.

На рис. 7 приведен пример эксперимента по определению дефектов в металлической ленте на основе “начальных” данных от восьми вихретоковых датчиков. Дефект (трещина) локализован в области пиков показаний датчиков в правой части. Использование указанных выше верхних уровней обработки информации на основе ВД позволят выявлять дефекты типа неоднородности структуры, сколы, поверхностные деформации.

#### 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Универсальность информационной системы на базе виртуальных датчиков позволяет эффективно обеспечить единообразие управляющего интерфейса для различных физических датчиков и типов приводов. Подобное активное очувствление является связующим звеном между датчиками и приводами и реализует единый подход к проблеме распознавания внешних воздействий.

Показано, что концепция виртуальности позволяет более эффективно реализовать функций выделения событий, детектирования особенностей, накопления данных и повышения надежности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Henderson T.C, Shilcrat E. Logical sensor systems. //”J. Robotic Systems”, 1984, v. 1, No. 2, pp. 169 – 193.
2. Nicholls H.R., Rowland J.J., Sharp K.A.I. Virtual devices and intelligent gripper control in robotics. //”Robotica”, 1989, v. 7, # 3, pp. 199-204.
3. Платонов А.К., Кирильченко А.А., Ладынин И.Г., Ястребов В.В. Концепция виртуальных датчиков в задачах управления мобильными

- мехатронными системами // Труды 3-ей Международной научно-технической конференции "Современные методы и средства океанологических исследований".-М.: ИО им. П.П.Ширшова РАН, 1997.-с. 137-143.
4. J.N.Ionova, A.A.Kiril`chenko, V.E.Pavlovsky, A.K.Platonov, V.E.Pryanichnikov. Conditions for coordination the information and motion activities of mobile robots. // Preprints of the 3rd IFAC Symp. on Intelligent Autonomous Vehicles, Madrid, Spain, March 25-27, 1998, v.1, pp. 67-72.
  5. Каргашин А.Ю., Кирильченко А.А., Ярошевский В.С. Определение характеристик дискретного осмотра среды мобильным роботом с использованием дальномерной информационной системы. // Программирование прикладных систем.-М.: Наука, 1992.-с. 155-164.
  6. Барбашова Т.Ф., Кирильченко А.А., Ярошевский В.С., Яшкичев И.В. Условия согласования информационно-двигательных параметров мобильного робота при осмотре среды // М.: Препринт Ин-та прикл. матем. им.М.В.Келдыша АН СССР, 1988, No. 190, 29 с.
  7. Rowland J.J, Nicholls H.R., A virtual sensor implementation for a assembly machine. // "Robotica", 1995, v. 13, pp. 195-199.
  8. Платонов А.К., Кирильченко А.А., Ястребов В.В. Проблемы разработки автономных подводных аппаратов // М.: Препринт Ин-та прикл.матем. им. М.В.Келдыша РАН, 1997, No. 45, 36 с.
  9. Bezbogov S.A., Kirilchenko A.A., Platonov A.K., Pranychnikov V.E., Yaroshevsky V.S. Path finding problem and information support of mobile robots in uncertainty // Preprints of the 2nd IFAC Symp. on Intelligent Autonomous Vehicles, Helsinki, 1995, pp. 74-80.
  - 10.Steer B., Guschieri J., Dunn S. e.a. Steps towards autonomous sensor based robotic systems in ocean.// 1st Int. Workshop "Intel. autonom. vehicles, Hampshire, U.K., Apr. 18-23, 1993: Prepr.", pp. 199-204.
  - 11.Sink P., A Comprehensive Guide to Industrial Networks, Part 2: Embedded Networking 101 – The Nuts and Bolts of Hardware and Software Design. // Sensors, v. 18, No. 7.
  - 12.Мартинов Г.М. Виртуальные приборы диагностики в системе ЧПУ. //”Информатика-машиностроение”, 1998, No. 4 (22), стр. 8 – 10.
  - 13.Буч Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на С++. // М.: “Бином”, 558 с.
  - 14.Boguslavskiy A.A., Kirilchenko A.A. e. a. Fundamentals of Construction of Multifunctional System of Mobile Robotics complexes // ”CSIT’2001”, Ufa, Russia, 2001, pp. 141 – 151.
  - 15.Duffy N.D., Herd J.T., Eccles N.J. Agents get framed in novel architecture. //”Industrial robot”, v. 18, No. 2, 1991, pp. 23-26.
  - 16.Kayex product information. // [www.kayex.com/productinfo/productoverview.HTML](http://www.kayex.com/productinfo/productoverview.HTML)

17. Tomaszewski P.E., Professor Jan Czochralski (1885-1953) and his contribution to the era and science of crystal growth. // "American Association for Crystal Growth", v. 27, No. 2, Autumn 1998.
18. Левшин И., Строительство реальных и воображаемых кремниевых долин в России. // "Computerworld", 2000, No. 3,.
19. Левшин И., Мурин Д., Кремний в России есть. // "Computerworld", 1998, No.35,
20. Бабич В.М., Блецкан Н.И., Венгер Е.Ф., Кислород в монокристаллах кремния. // Киев: Интерпресс ЛТД, 1997
21. Васькин В.В., Кропотин В.В., Петрик В.Ф., Моделирование выращивания кристаллов Ge методом Чохральского в пакете прикладных программ CRYSTAL-2.5D // Процессы тепломассопереноса и рост монокристаллов и тонкопленочных структур: Сб. тр. 2-й Рос. Симпоз.- Обнинск, с. 78-83.
22. [www.aka-control.ru](http://www.aka-control.ru)
23. Тарасов В.Б., Концепция МЕТАКИП, виртуальные предприятия и интеллектуальные производства. // 4-й Междунар. Конгр."Конструкт.-информат. 2000", Москва, 2000: КТН-2000: Тр. Конгр. Т .1, М.,2000.- с.189-193.
24. Брюханов В.Н., Системотехника автоматизированного машиностроительного производства. // 4-й Междунар. Конгр."Конструкт.-информат. 2000", Москва, 2000: КТН-2000: Тр. Конгр. Т .1, М.,2000.- с.86-87.
25. Косов М.Г., Брюханов В.Н., Кузнецов А.С., Концепция виртуальной технологии в машиностроении. // 4-й Междунар. Конгр."Конструкт.-информат. 2000", Москва, 2000: КТН-2000: Тр. Конгр. Т .1, М.,2000.- с.298-299.
26. Ахтеров А.В, Бакиров А.К., Джегутанов Ф.Р., Колганов М.А., Кирильченко А.А., Петрин А.А., Формирование действий распределенных мобильных систем на основе дальнометрии в задачах информационного блокирования и информационного взаимодействия. // Материалы научной школы-конференции "Мобильные роботы и мехатронные системы", Москва, 2002, с. 87-101.
27. Potter D., IEEE P1454.4's plug-and-play sensors. // Sensors, December 2002, [www.sensormag.com](http://www.sensormag.com)

Таблица 1. Основные типы виртуальных датчиков в сенсорной сети, построенной на основе данных физических датчиков. Первые шесть даны по работе [3], остальные по данным авторов.

Типы	Функции датчиков
0. Основные датчики (fundamental sensors).	Основной датчик представляет собой физический датчик в совокупности с его драйвером.
1. Датчики состояния (State sensors).	Формирование опросов состояний физических датчиков при помощи соответствующих драйверов.
2. Датчики событий (Event sensors).	Сигнал от ВД события возникает в случае, если произошло заданное супервизором изменение уровня сигнала ФД.
3. Триггерные датчики (Trigger sensors).	Осуществление заданной комбинации данных от датчика состояния и датчика события: данные от датчика состояния передаются в случае, если произошло срабатывание заданного датчика события в соответствии с предписанным условием супервизора.
4. Трендовые датчики (Trend sensors).	Осуществляют накопление данных (для статистической обработки) в случае осуществления заданного события.
5. Датчики дрейфа (Drift sensors).	Определяют событие как наличие систематического заданного дрейфа показаний заданного датчика.
6. Датчики надежности данных (Health sensors).	Проверяют наличие и работоспособность ФД и удовлетворение получаемого от ФД сигнала заданному рабочему диапазону.
7. Детекторы.	Логические фильтры, позволяющие выделить в последовательности данных ВД особенность типа скачка и скачка производной.
8. Датчики обобщения информации	“обобщающие преобразователи”, которые по заданному описанию характеристик среды производят их свертку и обобщение с целью уменьшения количества информации, необходимой для принятия решения
9. Датчики ситуации	Общая ситуация окружающей обстановки (или сцены) представляется в виде одного обобщенного признака ситуации. Значение данного признака ситуации может служить входом в словарь “ситуация-действие” при организации управления верхнего уровня

Таблица 2. Информационные уровни промышленных сетей, объединяющих датчики и преобразователи в рамках модели ISO/OSI [15]

Номер и название	Функция уровня
Уровень 7. Прикладной уровень (Application).	Определяет назначение данных. Состоит из программных элементов, отвечающих за связь датчиков, АЦП и коммуникационных процессоров и распознающих значения аналоговых и цифровых данных, параметров и строк.
Уровень 6. Уровень представления (Presentation).	Собирает данные в блоки и выполняет шифрование данных. В промышленных сетях используется редко.
Уровень 5. Сеансовый уровень (Session).	Открывает и закрывает коммуникационные каналы. Обычно не используется в сенсорных сетях.
Уровень 4. Транспортный уровень (Transport).	Контролирует целостность передаваемых данных и использует структурированный протокол сообщения. Обычно выполняется на программном уровне, например, с использованием протокола ТСР/ІР.
Уровень 3. Сетевой уровень (Network).	Обеспечивает прохождение данных от узла к узлу промышленной сети путем открытия и поддержания соответствующих путей. Осуществляет также функцию разделения сообщения на мелкие пакеты. Выполняется программно.
Уровень 2. Канальный уровень (Data link).	Управляет физической передачей данных между узлами промышленной сети. Обычно выполняется на аппаратном уровне, но для медленных сетей может выполняться и на программном уровне.
Уровень 1. Физический уровень (Physical).	Определяет состояние сигналов и физических соединений.

Виртуальные приборы диагностики (подключаются к интерфейсам COM сервера диагностики и привязаны к формату (типу) интерфейсов, а не к реализации COM сервера)



Рис. 1. Виртуальные приборы диагностики.

Таблица 3. Характеристики объектно-ориентированного подхода в рамках объектно-ориентированного анализа и проектирования [16]

№ п.п.	Характеристика	Содержание
1	Абстрагирование	Выделяет существенные характеристики данного ВД, отличающего его от других типов ВД. Логическая схема ВД группирует операции, которые либо вместе используются более высоким уровнем ВСС, либо сами используют некоторый фиксированный набор операций более низкого уровня.
2	Инкапсуляция	Процесс отделения друг от друга элементов ВД, определяющих его устройство и поведение (морфологический анализ на уровне алгоритма логической фильтрации данного ВД).
3	Модульность	Разложение ВСС на основные ВД.
4	Иерархия	Упорядочивание абстракций, расположение их по уровням ВСС.
5	Типизация	Проверка согласования супервизором типов датчиков при формировании рабочей структуры ВСС.
6	Параллелизм	Наличие нескольких линий управления потоками данных от уровня ФД к верхним уровням абстракции ВД. Отличие активных ВД от пассивных при формировании рабочей структуры ВСС.
7	Сохраняемость при реконфигурации	Способность ВД существовать во времени дольше породившего его процесса и перемещаться в адресном пространстве.

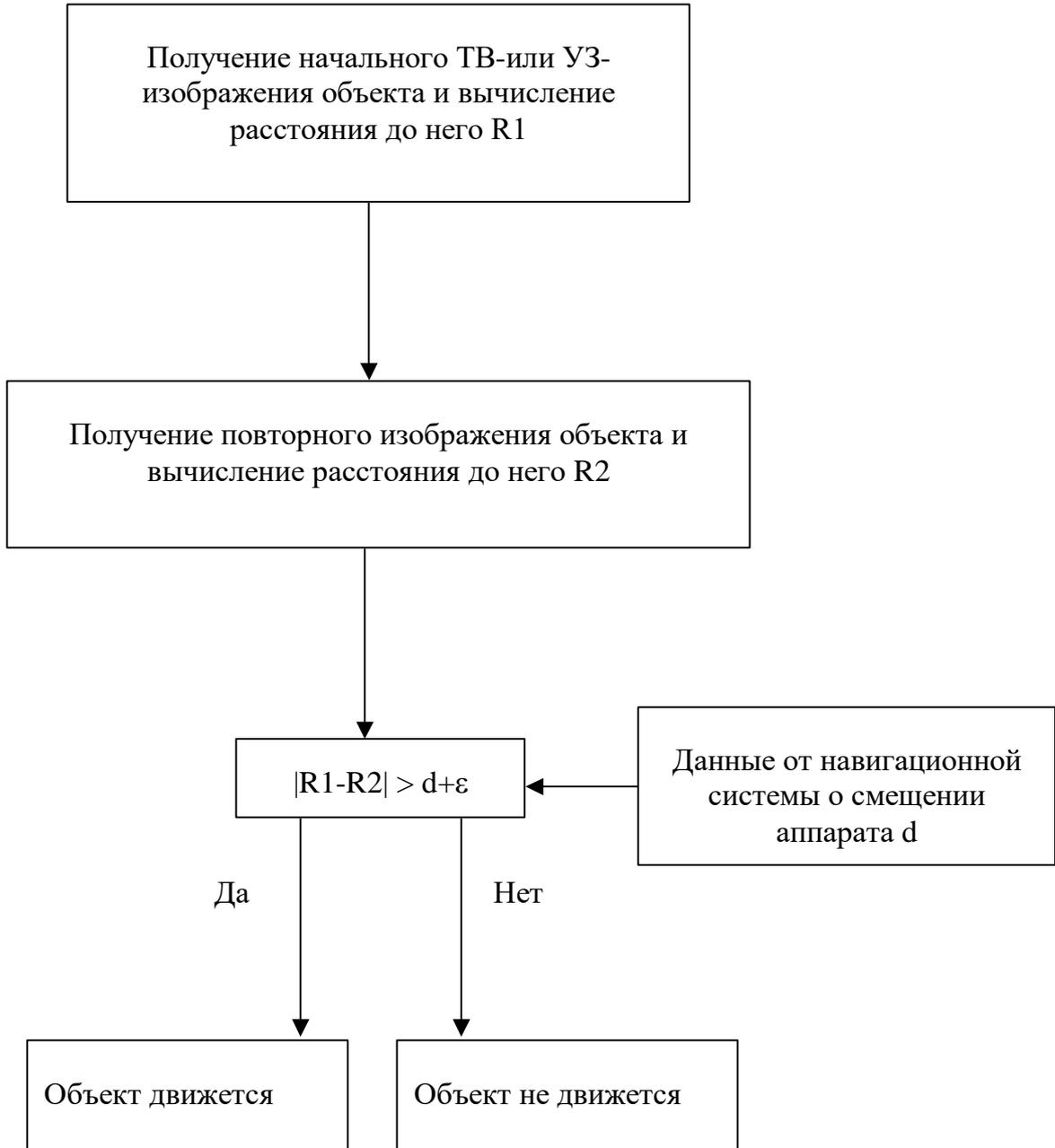


Рис.2.1. Блок-схема виртуального датчика – детектора движущегося объекта.

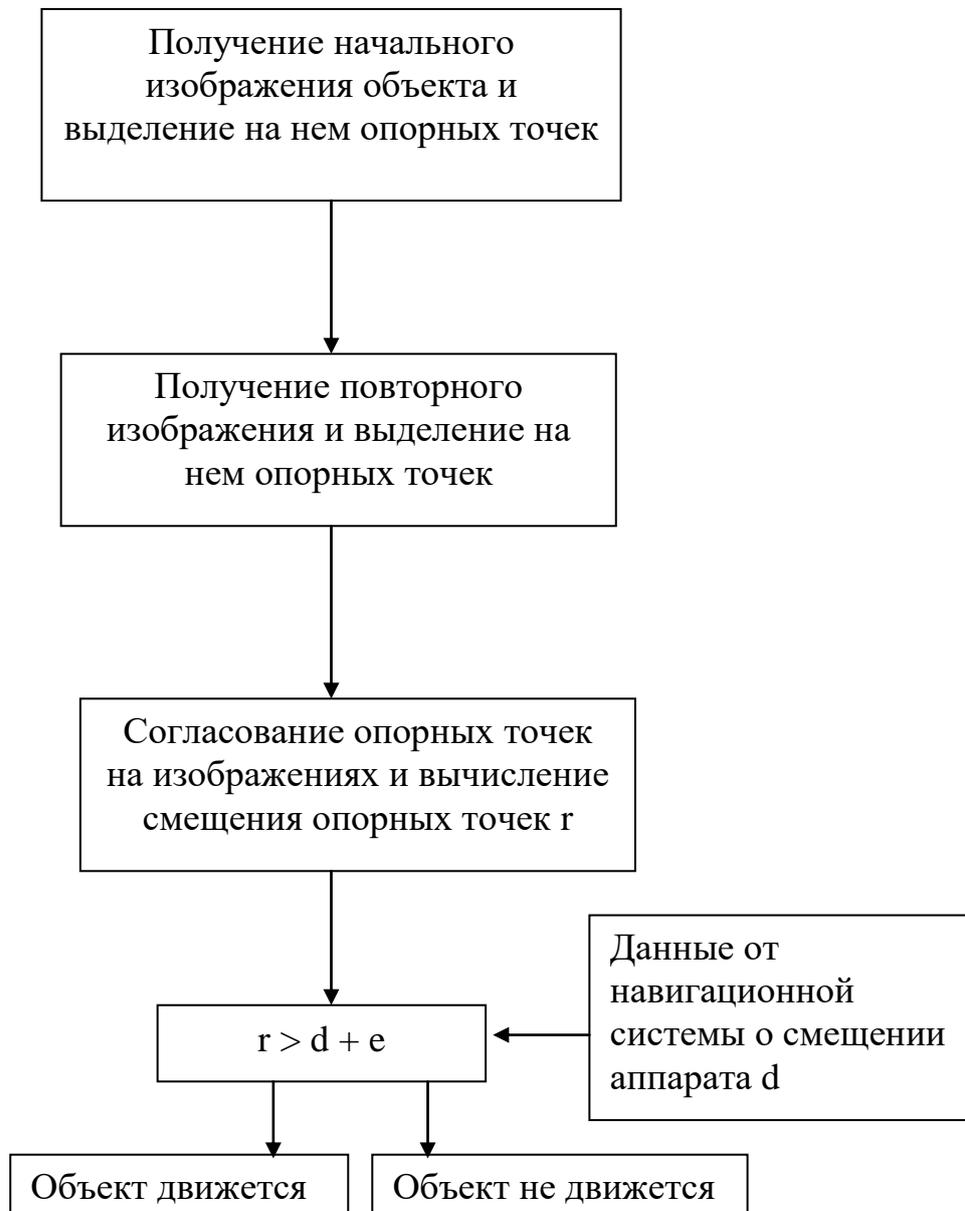


Рис.2.2. Блок-схема виртуального датчика – точного детектора движущегося объекта.



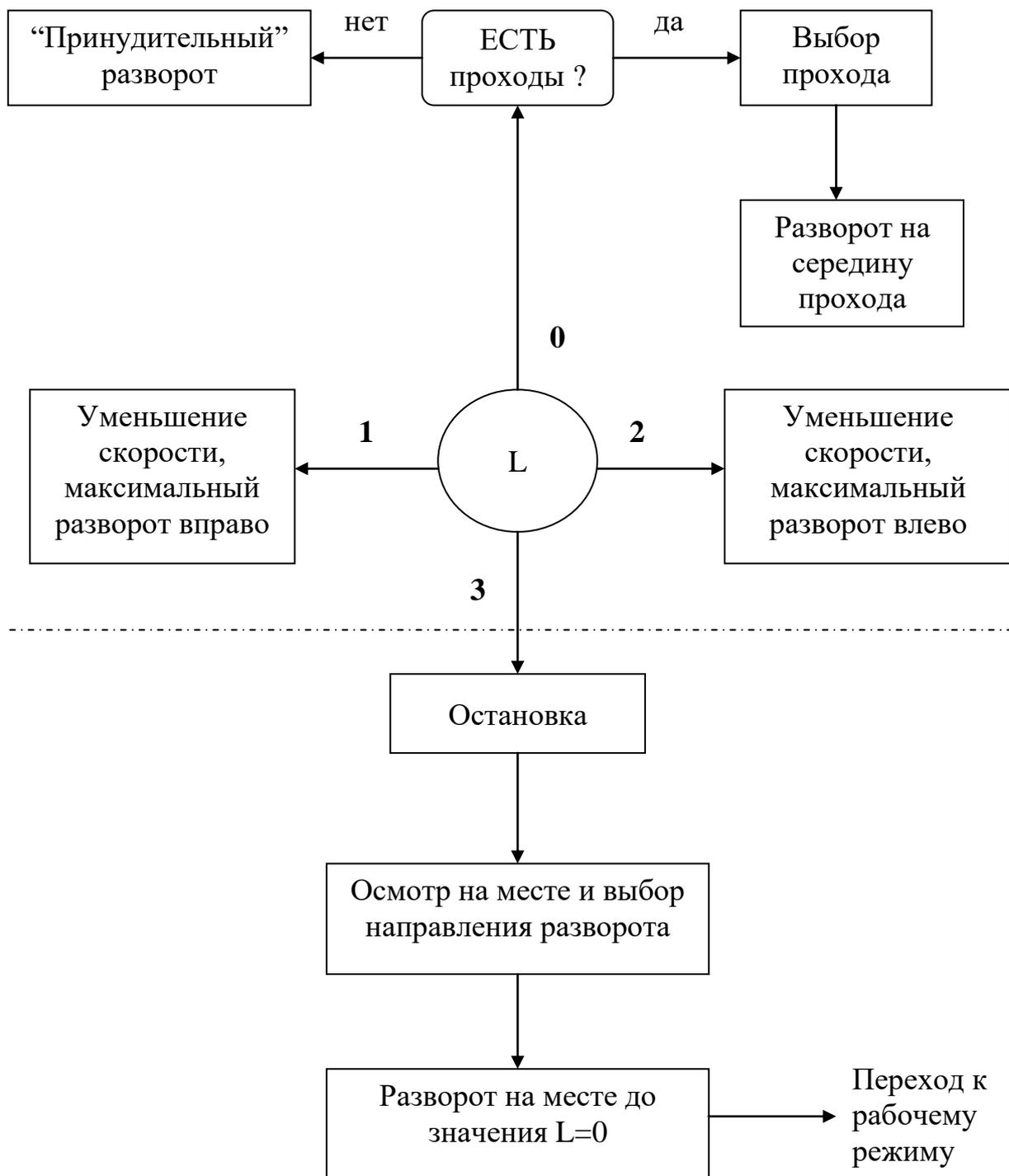
Рис. 3. Три схемы обработки дальнометрической информации при локальном планировании движения, описанные в качестве альтернативных блок-схем детектора препятствий.

**ПОЯСНЕНИЯ:**

Приоритетная обработка – при перезаписи остается признак с наибольшим приоритетом.

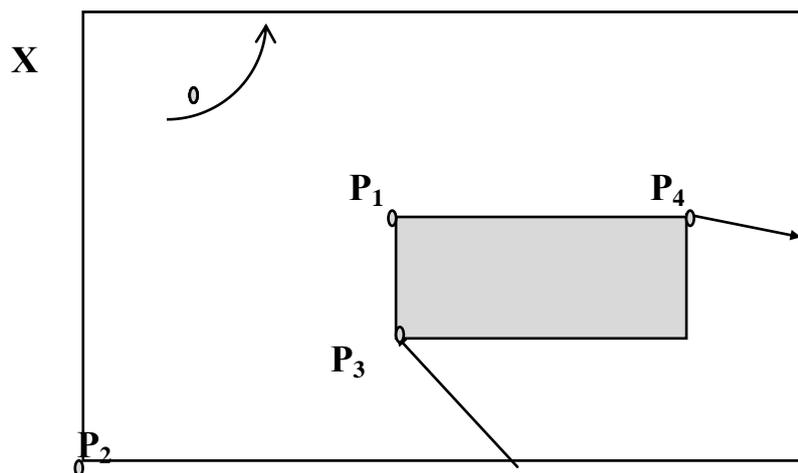
“Жесткое обобщение” – размены и положение элемента верхнего уровня постоянны и его признак определяется признаком с наивысшим приоритетом среди соответствующих элементов нижнего уровня.

“Гибкое обобщение” – одинаковые и рядом расположенные признаки нижнего уровня соответствуют одному элементу верхнего уровня, который характеризуется положением и размером.



Признак ситуации принимает значения:  
0 - нет близких препятствий;  
1 - близкое препятствие слева;  
2 - близкое препятствие справа;  
3 - близкое препятствие с обеих сторон.

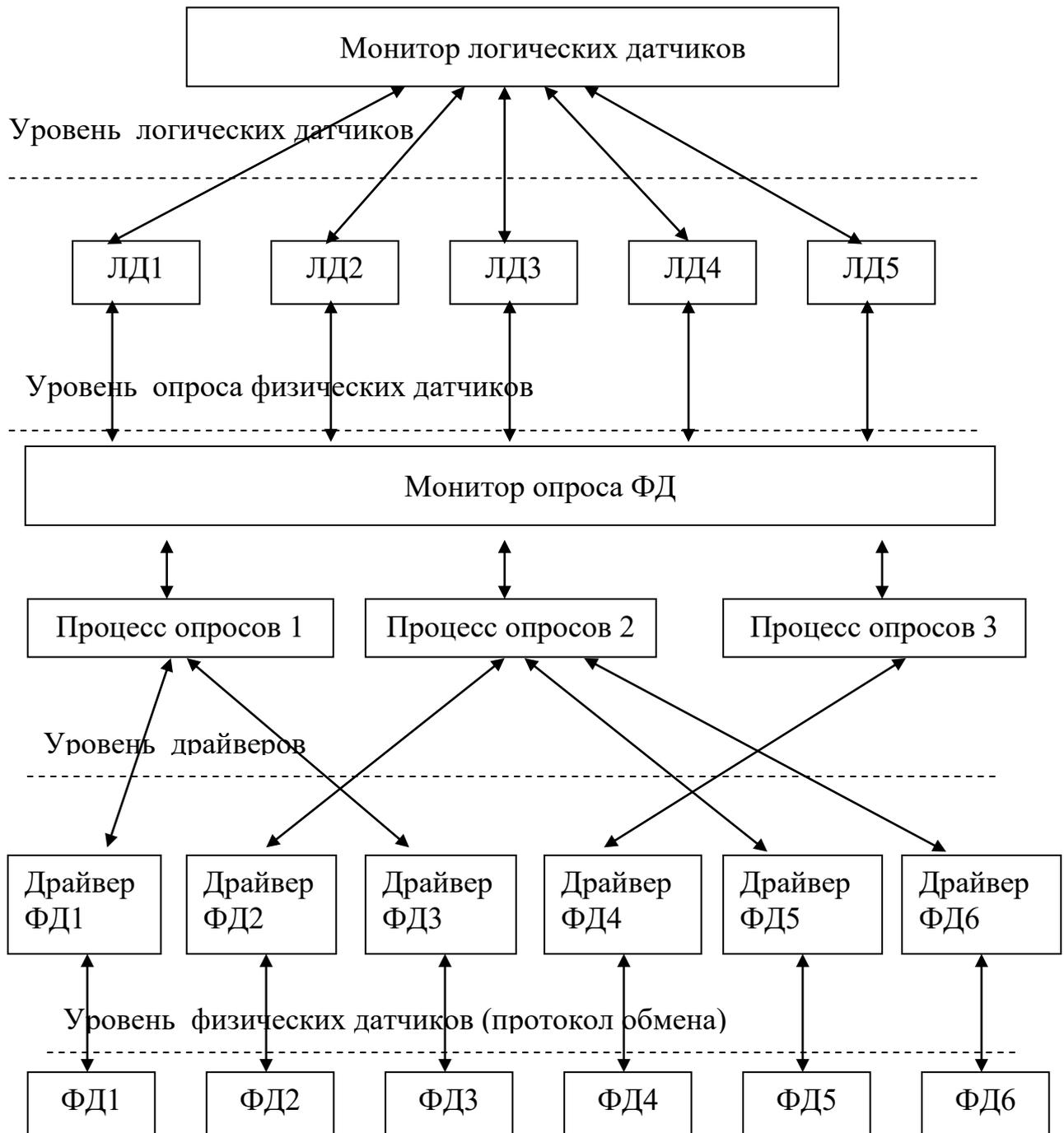
Рис. 4. Пример датчика ситуаций.



**Рис. 5. Классификация видимых из точки X вершин-ориентиров:**  
 1 - *выпуклый угол*; 2 - *вогнутый угол*; 3 - *скачок “к”*; 4 - *скачок “от”*.

Таблица 4. Характеристики реализаций трех схем локального выбора направлений движения МР.

№ схемы	1	2	3
Размерность представления (карты препятствий)	1x57	1x57	16x57
Обобщение информации: “жесткое” – Ж, “гибкое” – Г	Ж	Г	Ж
Средние вычислительные затраты (усл. ед.)	1	2.6	27.6 (80% - фильтрация выбросов)
Цикл обновления карты (сек)	0.1	0.1	1.6
Время существования мертвого пространства (сек)	5	5	1.6
Дискретность осмотра (см)	20	20	12-28



ЛД1 – коррекция скорости роста с целью поддержания постоянства диаметра;  
ЛД2 – скорость роста кристалла;

ЛД3 – профиль значения температуры;  
ЛД4 – поддержание заданной скорости вращения тигля;  
ЛД5 - поддержание заданной скорости вращения затравки с кристаллом;

ФД1 - определяет вес выращиваемого кристалла;

ФД2 - определяет скорость роста кристалла;

ФД3 - определяет температуру в камере;

ФД4 - представляет собой телекамеру

ФД5 - определяет угловую скорость тигля

ФД6 - определяет угловую скорость вращения кристалла

Рис. 6. Схема ПО установки по выращиванию кристаллов

Таблица 5. Способы повышения надежности СУ на основе ВД.

№ п.п.	Способ	Реализация
1	Повышение надежности ФД	Использование спецконтроллеров и ВД для преодоления дефектов ФД.
2	Аппаратная и программная реконфигурация при наличии избыточности ВСС	Реализация априорно заложенной возможности обработки информации альтернативными способами для решения заданной функциональной задачи. При перемене способа активируется новая часть ВСС.
3	Изоляция одиночных сбоев	Организация цикла обновления информации, согласованного с тактом работы СУ.
4	Подбор соотношения частот опросов ВД и такта работы СУ	Составление и анализ условий согласования процессов управления и информационного обеспечения.
5	Диагностические проверочные требования	Фоновая самопроверка систем и тесты ФД на основе ВД надежности.
6	“Плавная деградация”	Наличие специализированных программных средств, обеспечивающих ограниченное функционирование ВСС при программных и аппаратных сбоях, выходящих по своей значимости за пределы такта управления. Использование спецрежимов: 1. Экстренного авоста. 2. Пассивного наблюдения. 3. “Мягкого отказа”, позволяющего организовать проведение тестов на основе специального монитора для диагностики отказа ВСС.



Рис. 7. Пример работы уровня ФД для описания контроля и диагностики дефектов металлической ленты.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ВД - виртуальный датчик,  
ФД - физический датчик,  
УС - условие согласования,  
СУ - системы управления,  
ПР - промышленный робот,  
МР - мобильный робот,  
ИС - информационная система,  
СФ/А - структура фрейм/агент,  
РСРР - распределенная система промышленных роботов.