

# ТРИАНГУЛЯЦИОННЫЕ ДАТЧИКИ РАССТОЯНИЯ

Олег Лысенко, к.т.н., компания SICK AG

В статье представлен сравнительный обзор существующих на рынке датчиков расстояния, которые применяются для самых различных задач автоматизации. Более подробно описаны триангуляционные датчики расстояния, которые применяются для измерения дистанции с микронной точностью. Данные датчики широко используются в металлургии, автомобилестроении и упаковочной промышленности.

Самые первые бесконтактные датчики расстояния выдавали информацию о наличии или отсутствии предмета перед датчиком лишь в виде дискретного сигнала ON/OFF. Эти простейшие датчики до сих пор находят огромное применение в различных областях промышленности. В то же время для решения более сложных задач автоматизации технологических процессов инженерам нужна дополнительная информация о положении объектов измерения. Для этих целей были разработаны датчики, позволяющие определять расстояние до объекта и его положение с помощью аналогового выхода, сигнал на котором пропорционален расстоянию до измеряемого объекта. Такие датчики используются для решения самых разных задач: измерение уровня, контроль профиля, измерение толщины листа и многое другое.

## ВЫБОР ДАТЧИКА РАССТОЯНИЯ

Прежде чем подобрать оптимальный датчик расстояния необходимо знать ответ на ряд важных вопросов:

- рабочая дистанция до объекта измерений;
- структура объекта измерения, его цвет и размер;
- требуемая точность измерений;
- требуемая повторяемость измерений;
- скорость движения объекта;
- при каких внешних условиях работает датчик;
- необходимый тип выходного сигнала;
- условия для монтажа датчика.

Получив ответ на эти вопросы можно выбрать необходимый датчик расстояния среди множества существующих на рынке технологий.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ОБЗОР ДАТЧИКОВ РАССТОЯНИЯ

Датчики для измерения расстояния могут использовать различные принципы измерений: индуктивный, ультразвуковой или оптический. Однако все

они имеют электрический выходной сигнал, величина которого пропорциональна расстоянию до измеряемого объекта. В таблице 1 представлены основные типы аналоговых бесконтактных датчиков для измерения расстояний и их основные особенности.

### Индуктивные датчики

Индуктивные датчики расстояния определяют расстояния до проводящих металлических объектов, таких как сталь, алюминий, латунь. Датчики, работая по принципу токов взаимной индукции, могут работать в самых тяжелых условиях. Достоинствами данного типа датчика является высокая точность и возможность применения для большинства высокоскоростных задач. Но, несмотря на прекрасную точность, разрешение и время отклика, датчик имеет существенную нелинейность. Для компенсации этой нелинейности требуется использование контроллера.

### Ультразвуковые датчики

Принцип действия ультразвуковых датчиков основан на излучении импульсов ультразвука и измерении расстояния до объекта измерения, отразившись от которого звуковой импульс возвращается обратно в датчик.

Наиболее важными особенностями применений ультразвуковых датчиков служит их возможность измерять расстояния до таких сложных объектов

таких как, например, сыпучие вещества, жидкости, гранулы, прозрачные или напротив сильно отражающие поверхности. Кроме того ультразвуковыми датчиками можно измерять сравнительно большие расстояния. При этом сохраняются их небольшие размеры, что может быть существенно для ряда применений.

Однако и ультразвуковые датчики имеют ряд ограничений. Прежде всего, это пена и другие объекты, сильно поглощающие ультразвуковые колебания. Такое поглощение сильно уменьшает измеряемую дистанцию. Сильно изогнутые поверхности так же снижают расстояние и точность измерений, поскольку рассеивают ультразвуковые колебания в различных направлениях.

### Оптические датчики расстояния

В настоящее время среди оптических датчиков расстояния можно выделить лазерные интерферометры, сенсоры с рассеянным отражением света, оптические датчики радарного типа и оптические датчики триангуляционного типа.

Каждый из них имеет свою область применения. Лазерные интерферометры имеют большой диапазон измерений и точность несколько нанометров, однако, эти приборы очень дорогие и сложные в эксплуатации. Датчики с рассеянным отражением и аналоговым выходом могут измерять расстояния в широких пределах, однако поскольку они работают с отраженным светом, то могут быть проблемы с измерением расстояний до окрашенных или отражающих объектов. Оптические датчики радарного типа, преимущественно лазерные, могут измерять большие расстояния, однако принцип их работы, основанный на измерении времени

Таблица 1. Сравнительный анализ различных датчиков расстояния

	Индуктивные	Ультразвуковые	Оптические	
			Триангуляционные	Радарные
				
Расстояние	0...20 мм	10 мм ... 10 м	10...1,000 мм	10 мм...1,1 км
Разрешение	0,1 мкм	0,1 мм	1 мкм	0,5 мм
Точность	1 мкм	0,2 мм	2 мкм	2 мм
Линейность, %	0,4—5	0,5	0,05—1	0,001
Время, мс	0,3	20	1	1

распространения света от датчика до объекта и обратно, позволяет измерять с ограниченным разрешением в 2...3 мм. Триангуляционные датчики имеют рабочий диапазон от долей микронов до нескольких десятков метров. Они работают с объектами малого размера, имеющие различный цвет, сложную структуру поверхности и перемещающиеся с высокой скоростью.

**ДАТЧИКИ РАССТОЯНИЯ НА СВЕРХМАЛОМ ДИАПАЗОНЕ**

В данной статье остановимся на рассмотрении триангуляционных датчиков расстояния для сверхмалого диапазона работы.

Подобные изделия выпускают ряд фирм, из которых следует отметить, прежде всего, японские компании. Отличительными характеристиками продукции компании SICK AG, по сравнению с подобными изделиями других фирм, являются следующие:

- большинство продуктов компании представляют собой датчик с интегрированным контроллером, тогда как стандартно подобные изделия состоят из отдельных частей: измерительной головки и контроллера;
- малый размер оптического пятна, что позволяет детектировать миниатюрные объекты;

- применение настройки дистанции с помощью механизма teach-in (автоматическая настройка нажатием соответствующей кнопки) – обычно для этого используется ручная настройка потенциометром.

Ассортимент выпускаемых датчиков расстояния представлен в таблице 2.

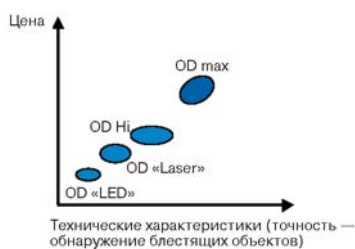


Рис. 1. Сравнение триангуляционных датчиков расстояния на основе соотношения цена/технические характеристики



Рис. 2. Датчик расстояния OD max

На рисунке 1 представлено сравнительный график серий на основе соотношения цена/технические характеристики.

**ДАТЧИК РАССТОЯНИЯ OD MAX**

Наиболее интересным для рассмотрения является датчик расстояния OD max (см. рис. 2) выпущенный в начале 2005 г. Данный датчик позиционируется как топ-решение, обладающее одними из лучших, среди подобных изделий, технических характеристик.

Отличительными характеристиками серии OD max являются:

- рабочий диапазон: 30 ±5/85 ±20/350 ±100 мм;
- точность/линейность: 0,01/0,04/0,2 мм;
- разрешение: 1/5/50 мкм;
- красный лазер, класс 2;
- возможность подсоединения к усилителю до двух измерительных головок;
- 5 пороговых выходов, 4 аналоговых выхода (1 по напряжению и 1

по току для каждой измерительной головки);

- широкий набор встроенных в усилитель управляющих и математических функций (8 математических функций, 3 задержки, 6 синхронизаций, 2 фильтра);

- измерительная головка предназначена для работы в сложных условиях (освещенность макс. 3000 люкс; рабочий диапазон температур 10...45°C; степень защиты IP67; устойчивость к вибрации 10...55 Гц; устойчивость к ударам 50g);

- усилитель предназначен для работы в сухих и чистых помещениях (рабочий диапазон температур 10...45°C; степень защиты IP20; устойчивость к вибрации 10...55 Гц; устойчивость к ударам 20 G)

**Принцип работы**

На рисунке 3 показан принцип работы датчика. Лазер посылает через линзу луч, который отражается от объекта и фокусируется на

Таблица 2. Триангуляционные датчики расстояния

Технические параметры	OD	OD HI	OD max
Габаритные размеры, мм	24 × 60 × 50		25,5 × 78 × 76,5
Материал корпуса	пластик/металл		металл
Напряжение питания, В пост. ток	12...24		
Класс защиты	IP 67		
Диапазон рабочих температур, °C	-10...40		-10...45
Стандарты соответствия	CE		
Диапазон измерений, мм	30 ±4 100 ±35 130 ±50 250 ±150	30 ±4 50 ±10 80 ±15 100 ±40 250 ±150	30 ±5 85 ±20 350 ±100
Точность, % от измеряемого диапазона	±2...3	±1	±0,1
Разрешение, мкм	1 5 20 150	1 2 8 8 10	1 5 50
Переключающие выходы	1 × PNP		5 × PNP/NPN
Частота срабатывания	5/с		0,5 мс
Аналоговый выходной сигнал	4...20 мА, программ.		4...20 мА / ±5 В
Параметры выходного сигнала, мкс	280		—
Последовательный интерфейс	Profibus-DP, RS 232		—
Скорость передачи данных, макс., МБод	1,5		—
Входы	teach-in, блокирующий вход		
Источник излучения	красный светодиод/лазерный диод, класс 2		
Подключение	кабель, разъем	кабель, разъем	терминал

линейке из фотодиодов, которая преобразует световой сигнал в электрический. Всякое изменение расстояния до объекта вызывает изменение угла отраженного луча и, следовательно, позиции, которую отраженный луч занимает на линейке фотодиодов. Микроконтроллер обрабатывает сигнал от линейки фотодиодов и преобразует его в аналоговый электрический сигнал.

Датчик OD max, в отличие от серии OD, выполнен по CMOS-технологии, что помогло добиться измерения дистанций с микронной точностью. Принимающий элемент, изготовленный по данной технологии, является основой данного изделия. Он включает в себя набор принимающих фотодиодов, усилителей и ключей, разделенных на ряд зон. В настоящее время используются три технологии по которым изготавливаются фотоприемники: CCD, CMOS и PSD.

Значительным преимуществом CMOS, по сравнению с технологией CCD, является отсутствие эффекта размывания (блюминга) пикселей, которое свойственно CCD и отражается на более низкой точности измерений.

Сравнение технологий CMOS и PSD (серия OD) показано на рисунке 4. Основными преимуществами используемой CMOS-технологии является:

- высокая точность измерений (отсутствие эффекта размывания);
- низкое потребление;
- низкий нагрев датчика;
- небольшие размеры.

Датчик OD max состоит из двух отдельных частей: измерительной головки и усилителя. Измерительная головка представлена на рисунке 5. На датчике имеется два сигнальных светодиода: индикаторы сигнала мощности и дистанции. Рассмотрим для примера датчик на дистанцию  $30 \pm 5$  мм. При расположении датчика от объекта измерения на расстоянии 30 мм светодиод светит оранжевым светом, что свидетельствует о правильном рас-

положении датчика относительно объекта. Если расстояние меньше 30 мм, то светодиод – красный, если больше – зеленый. Светодиод силы сигнала (зеленый) сигнализирует о достаточном уровне отраженного от объекта сигнала и, соответственно, о правильной ориентации датчика относительно объекта.

Усилитель (см. рис. 6) представляет собой блок, крепящийся на DIN-рейке. Он позволяет подсоединять два датчика одновременно, что особенно актуально для задачи измерения толщины различных материалов. Также на этом блоке имеются две съемные панели выводов, к которым подводится питание датчиков и снимается ряд сигналов (пороговые, аналоговые, alarm).

На передней панели имеется жидкокристаллический дисплей и блок управления с набором клавиш:

- RIGHT/LEFT – выбор функции или параметра датчика;
- UP/DOWN – изменение значения параметра;
- SET/RUN – установка режима дисплея, вход в меню;
- BANK – выбор и загрузка настроенных под определенную задачу параметров датчика. Оператор может запомнить до 8 подобных профилей;

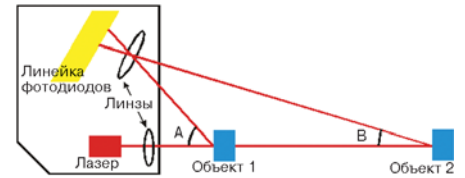


Рис. 3. Принцип работы датчика расстояния

– 1-2-3 – изменение положение курсора между цифрами настраиваемого параметра;

– LOCK – блокирование управляющих клавиш. Повторное нажатие отменяет эту операцию;

– ZERO A, ZERO B – сбрасывание параметров датчиков в стандартные значения;

В усилитель встроено множество самых различных функций, которые позволяют настроить датчик для решения самых сложных задач.

1. FILTER – установка среднего периода измерений. Более высокое значение позволяет игнорировать внезапные изменения положения объекта, а более низкое значение позволяет получить меньшее время отклика. Кроме этого имеется возможность установить низкочастотный или высокочастотный фильтр, а

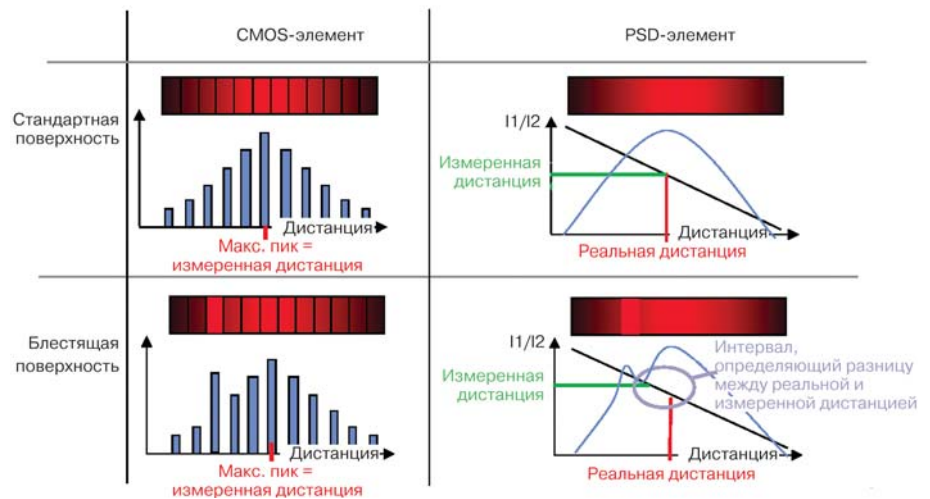


Рис. 4. Сравнение технологии CMOS и PSD



Рис. 5. Измерительная головка OD max

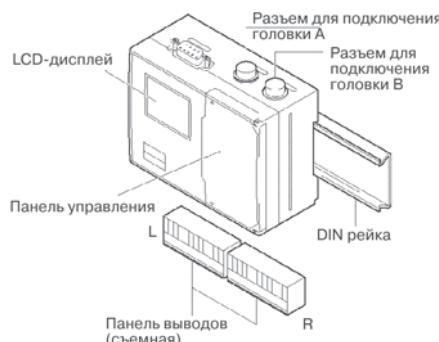


Рис. 6. Блок усилителя OD max

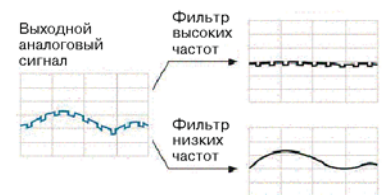


Рис. 7. Результат работы НЧ- и ВЧ-фильтра

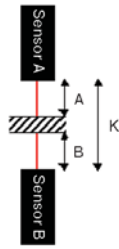


Рис. 8. Измерение толщины

также предельную частоту фильтра. Принцип работы фильтров показан на рисунке 7.

2. CALCUL.1 — позволяет выполнять ряд арифметических операций со значениями дистанций от измерительных головок (А и В). В частности А, В, А + А, А - В, -А -В, К - А - В, К + А + В, К + А - В, К + А, К + + В, где К — настраиваемая оператором константа. Например, для измерения толщины (см. рис. 8) необходимо задать  $K - A - B$ , где К — расстояние между датчиками.

3. CALCUL.2 — позволяет установить начало отсчета и направление шкалы измерения.

4. HOLD — ряд специфических операций, например сохранение максимального, минимального значения дистанции и т.п.

5. CONTROL 1, 2, 3 — настройка параметров 5 пороговых выходов.

6. ANALOG 1, 2 — настройка параметров аналоговых выходов.

7. SENSITI — настройка чувствительности датчика.

8. TIMER — настройка задержки выходного сигнала.

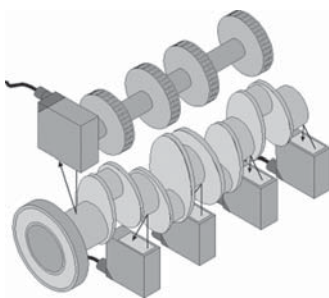


Рис. 9. Полировка распределительного вала

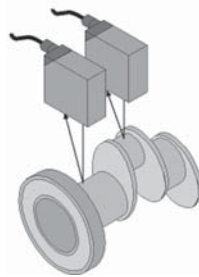


Рис. 10. Контроль размеров распределительного вала

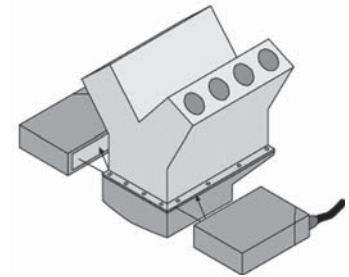


Рис. 11. Сборка двигателя

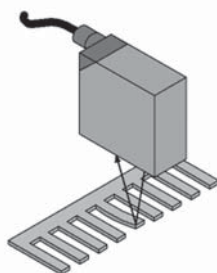


Рис. 12. Штамповка деталей

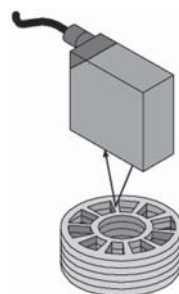


Рис. 13. Контроль высоты и определение дефектных слоев статора и ротора

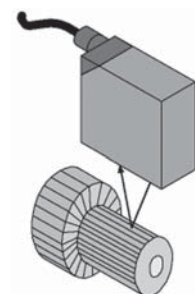


Рис. 14. Контроль поверхности коллектора

9. MEMORY — возможность сохранения параметров датчика в отдельный банк памяти.

**Области применения**

Данные приборы находят самое широкое применение в электронной и полупроводниковой промышленности, упаковочной промышленности, автомобилестроение и шинной отрасли, при сборке и на роботизированных операциях.

Наиболее интересными для рассмотрения являются автомобильная и упаковочная промышленность.

**Автомобильная промышленность**

*Полировка распределительного вала* (см. рис. 9). Распределительный вал является одной из высокоточных деталей в двигателе автомобиля. Размеры контролируются с помощью датчика OD во время его изготовления. Мониторинг в реальном масштабе времени гарантирует полирование с высокой точностью и меньшим процентом браком.

*Проверка размеров распределительного вала* (см. рис. 10). Еще один пример контроля и мониторинга размеров распределительного вала. В настоящее время более распространено ручное тестирование готового изделия, но очень перспективной является автоматизация этой операции.

*Сборка двигателя* (см. рис. 11). Размеры и положение поддона картера измеряются во время операции сборки двигателя для того, чтобы избежать утечки масла во время дальнейшей эксплуатации.

*Штамповка деталей* (см. рис. 12). Автомобильный мотор состоит из ряда штампованных деталей. Датчик OD max гарантирует отсутствие деформаций после операций штамповки и гибки.

*Мотор двигателя* (см. рис. 13). Ротор и статор мотора и генератора состоит из ряда стальных листов для обеспечения требуемых магнитных свойств. Датчик расстояния контролирует высоту ротора и обнаруживает слой с деформациями.

*Мотор двигателя* (см. рис. 14). Коллектор мотора должен иметь гладкую поверхность, чтобы предотвратить искрение и ранний износ щеточного узла. Датчик OD тестирует поверхность для обнаружения различных дефектов.

*Изготовление листового материала* (см. рис. 15). Листовой материал очень широко используется в самых различных отраслях, в том числе и в автомобильной. Датчики расстояния серии OD max используются для обнаружения дефектов и контроля толщины практически любого материала. Еще ряд приложения включают тестирование и контроль операции шпаклевки и покраски.

*Сборка кузова* (см. рис. 16). Перед тем как установить переднее стекло автомобиля, измеряется положение и перекашивание кузова, для того чтобы скорректировать данные управляющей программы сборочного робота. Кроме этого датчики данной серии используются для контроля правильности сварки и склеивания различных деталей кузова.

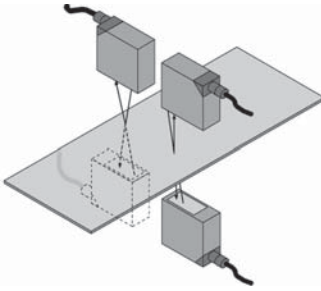


Рис. 15. Измерение толщины листового материала

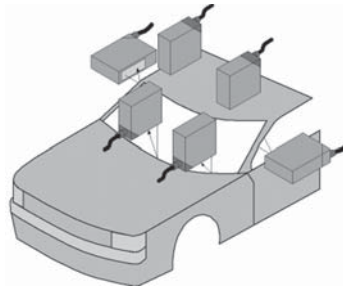


Рис. 16. Сборка кузова

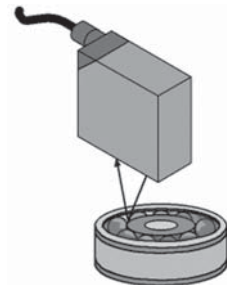


Рис. 17. Контроль смазки в подшипниках

Подшипники качения (см. рис. 17). Подшипники качения не должны функционировать в условиях отсутствия смазки. Датчик расстояния используется для контроля наличия и количества смазки.

Робототехника (см. рис. 18). Положение оси шарнира измеряется в координатах X-Y-Z. Благодаря этому робот может быть откалиброван после каждого рабочего цикла, чтобы улучшить точность и повторяемость движений концевой точки робота.

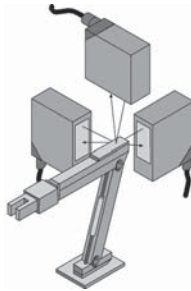


Рис. 18. Робототехника

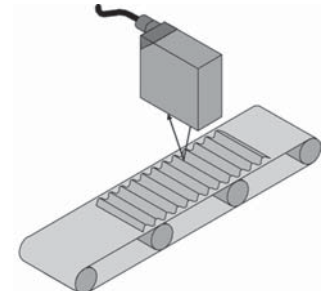


Рис. 19. Производства картона

**Печатные и упаковочные машины**

Производство картона (см. рис. 19). Во время производства картона бумага зачастую сминается. Датчик расстояния OD измеряет разницу между впадинами и вершинами бумаги, чтобы гарантировать отсутствия смятия готового изделия.

Упаковочная машина (см. рис. 20). Присутствие крышек на бутылках обнаруживается с помощью датчика расстояния OD на упаковочной машине. Кроме этого не полностью закрученные крышки также могут быть детектированы. Это же приложение может быть реализовано с помощью фотоэлектрического датчика с отражением от объекта, имеющего разрешение меньше чем 0,1 мм.

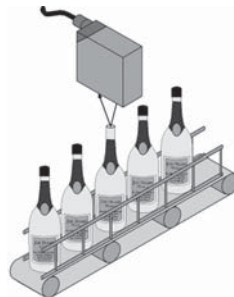


Рис. 20. Упаковочная машина

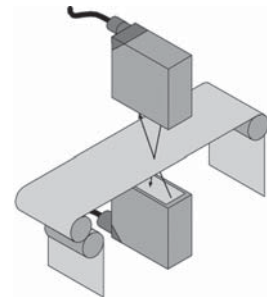


Рис. 21. Изготовление прозрачной пленки

Изготовление прозрачной пленки и бумаги (см. рис. 21). Два датчика OD так измеряют толщину и косвенно ширину пленки или другого материала при их изготовлении. Вибрации материала не влияют на измерения, благодаря расположению датчиков друг напротив друга. Чтобы обеспечить максимальную точность измерений рекомендуется устанавливать датчики как можно ближе к роликам.

Печатающие машины (см. рис. 22). Необходимо избегать попадание в печатающие и упаковочные машины двойных листов картона или других материалов. Для данной задачи используется датчики расстояния серии OD, на результаты измерения которого не влияют ни цвет конвейера, ни цвет материала.

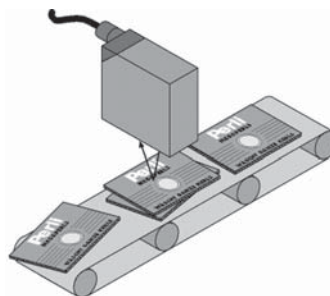


Рис. 22. Контроль сдвоенных листов на машинах

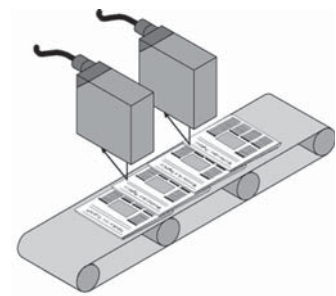


Рис. 23. Подсчет количества журналов

Печатающие машины (см. рис. 23). Два датчика расстояния используются для подсчета журналов, выходящих из печатной машины. Датчики определяют разницу в высоте, что позволяет подсчитывать даже очень тонкие журналы и проспекты.

можно найти на сайтах [www.sick-automation.ru](http://www.sick-automation.ru), [www.sick.com](http://www.sick.com), а также в московском представительстве немецкой компании SICK AG.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Материалы презентаций компании SICK
2. [www.sick-automation.ru](http://www.sick-automation.ru)
3. [www.sick.com](http://www.sick.com)
4. [extranet.sick.de](http://extranet.sick.de)
5. [www.sensor.ru](http://www.sensor.ru)

В заключении хотелось бы отметить, что более подробную информацию о подобных изделиях