

## РАЗВИТИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИНЫ ИЗДЕЛИЯ ПРИ ПРЕССОВАНИИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

О.Г. Тюрин, В.Г. Макаренко (ЮРГТУ(НПИ) им. М.И. Платова),  
О.А. Корнелюк, Ф.А. Савостьянов (ООО фирма «Пластик Энтерпрайз»)

*Рассмотрены существующие методы измерения длины и скорости выхода изделий при прессовании высокоэнергетических материалов: по конечным положениям, с помощью мерного колеса, бесконтактный оптический метод. Приведены их основные достоинства и недостатки. Отмечено, что наиболее передовыми в условиях цифровизации являются методы бесконтактного измерения.*

*Ключевые слова: измерение длины, измерение скорости, лазерный дальномер, техническое зрение, бесконтактные методы измерения.*

При прессовании изделий из высокоэнергетических материалов с использованием экструдера непрерывного действия актуальной является задача контроля длины и скорости выхода изделия, которая напрямую зависит от производительности аппарата. Контроль длины и скорости позволяет в комплексе с другими мерами не только контролировать объем готовой продукции, но и выдавать информацию в систему управления для прогноза возникновения нештатной ситуации, например, если скорость (производительность) падает ниже допустимой по технологии.

К средствам измерения длины и скорости выхода изделия предъявляются следующие требования: минимальное время реакции, исключение влияния вибрации и неравномерности движения (для средств измерения скорости), возможность работы с низкими скоростями движения, эксплуатация в пожаро- и взрывоопасных помещениях, высокая точность измерения, возможность выдачи управляющего воздействия на привод ножа [1].

Описанные ниже решения по измерению длины изделия условно можно разделить на три группы. Средства измерения первой группы формируют управляющее воздействие для отреза изделия при достижении им заданной длины, при этом конечное положение изделия может быть определено как контактным, так и бесконтактным методами. При нахождении изделия в промежуточном положении (между границей ножа и заданной точкой) определить его длину не представляется возможным.

Вторая группа объединяет средства, позволяющие измерять длину изделия контактным способом, преобразуя угловые перемещения специального мерного колеса в линейное значение длины изделия.

Третью группу составляют бесконтактные оптические преобразователи, непрерывно измеряющие длину и/или скорость движения изделия.

Приведенные решения иллюстрируют развитие средств измерения длины и скорости выхода изделия применительно к отрасли специальной технической химии.

### Средства измерения длины по конечным положениям

В методе определения длины движущихся изделий на основе концевых выключателей на пути

перемещения изделия на заданном расстоянии от ножа устанавливают концевой выключатель. В момент прохождения изделия через концевой выключатель формируется управляющий сигнал на отрезное устройство. Для достижения необходимой точности отреза изделий необходимо осуществлять предварительную калибровку, что значительно увеличивает трудоемкость способа, а также в большинстве случаев делает невозможным дистанционное изменение заданного значения.

Дополнительной особенностью данного решения является необходимость установки транспортирующего конвейера, скорость движения которого должна быть выше, чем скорость выхода изделия из прессинструмента, чтобы обеспечить разделение заготовок. Конвейер может быть установлен как на оси движения изделия из экструдера, так и параллельно. Перемещение изделия на параллельный конвейер осуществляется с помощью специального опрокидывателя.

В процессе развития данного метода определения длины были использованы три подхода определения положения детали.

*Контактный метод (рис. 1).* На заданном расстоянии от ножа устанавливают концевой выключатель в форме ролика. При прохождении изделия ролик поднимается, и происходит выдача управляющего сигнала на нож. Изделие отрезается и продолжает движение по конвейеру, но с уже большей скоростью. После прохождения изделия ролик возвращается в исходное состояние, и цикл повторяется.

Обеспечение безопасности достигается применением концевых выключателей с видами защиты искробезопасная электрическая цепь или взрывонепроницаемая оболочка.

Основным достоинством данного метода является его простота и, соответственно, низкая стоимость реализации. К недостаткам метода отнесем контакт ролика и готового изделия, невозможность измерения скорости движения, а также отсутствие дистанционной регулировки длины отрезаемого изделия.

*Бесконтактный метод с фиксированным положением концевого выключателя (рис. 2).* Этот метод повторяет алгоритм работы контактного метода, но вместо ролика используется оптический датчик, установленный во взрывозащитный корпус.

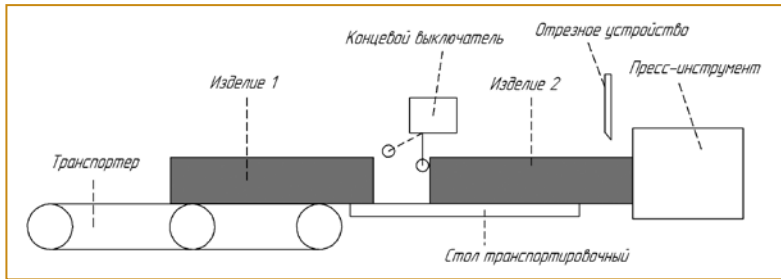


Рис. 1. Контактный метод измерения длины

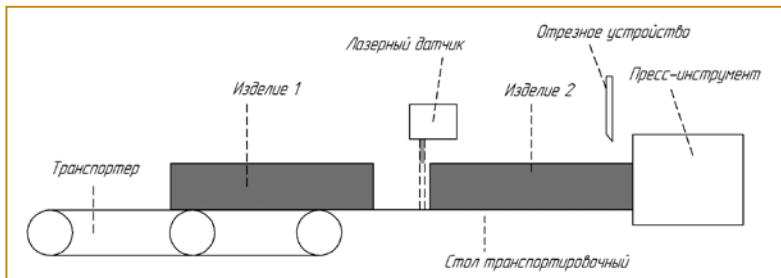


Рис. 2. Бесконтактный метод измерения длины с фиксированным положением концевого выключателя

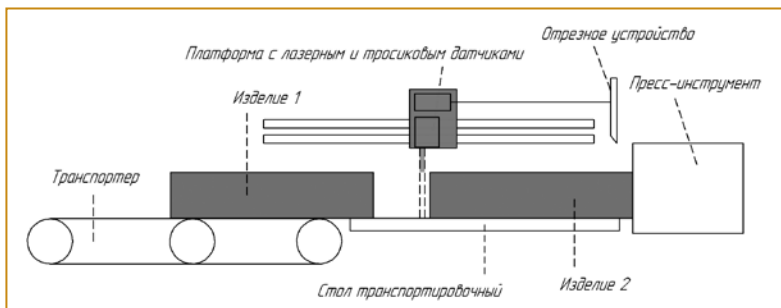


Рис. 3. Бесконтактный метод измерения длины с регулируемым положением концевого выключателя

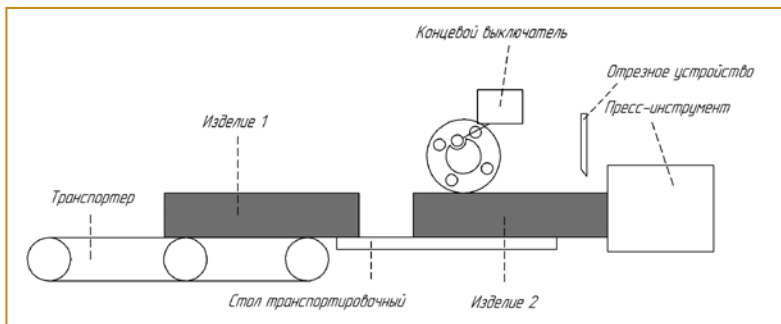


Рис. 4. Простейший вариант измерения длины изделия

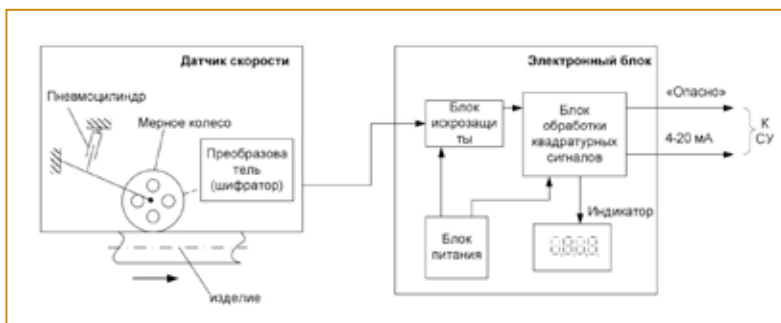


Рис. 5. Структурная схема измерителя скорости выхода изделия типа ИС

Бесконтактный метод с регулируемым положением концевого выключателя (рис. 3). Оптический датчик во взрывозащитном корпусе устанавливается на подвижную платформу. Платформа движется по направляющим вдоль транспортера. Перемещение платформы осуществляется асинхронным электродвигателем через редуктор и винтовую передачу. Скорость движения платформы составляет 6 мм/с. Расстояние между местом реза ножа и оптическим датчиком измеряется с помощью тросикового датчика перемещения RX80. При необходимости изменения длины изделия оператор вводит необходимое значение, и платформа автоматически перемещается в заданное положение. Управление платформой и ввод требуемых значений осуществляется через АСУТП формирования изделия. Платформа позволяет регулировать длину отрезаемого изделия в диапазоне 200...1500 мм.

#### Измерение длины изделия с помощью мерного колеса

В простейшем варианте измерение длины с помощью мерного колеса представляет собой систему, приведенную на рис. 4. Срабатывание концевого выключателя и выдача сигнала на отрезание изделия происходит при каждом полном обороте мерного колеса. При этом изменение длины отрезаемого изделия осуществляется путем установки мерных колес с различным диаметром.

Данный способ измерения является устаревшим и практически не применяется в настоящее время из-за сложности регулировки длины и необходимости контакта мерного колеса с изделием. На базе данного метода был реализован автоматический измеритель скорости выхода изделий из экструдера, построенный на контактом методе, реализующем преобразование угловой скорости специального мерного колеса, контактирующего с поверхностью поступательно движущегося изделия, в электрический сигнал.

Применение такого типа преобразователя с высокой разрешающей способностью позволило успешно решить сложную техническую задачу измерения малых скоростей перемещения при обеспечении их достоверности и заданной точности. Структурная схема измерителя показана на рис. 5.

В качестве преобразователя использован двухканальный поворотный шиф-

ратор приращений ЛИР-128, соединенный гибкой безлюфтовой муфтой с мерным колесом диаметром 60 мм. Он помещен в защитный кожух для механической защиты при эксплуатации в жестких условиях производства. Блок искрозащиты выполнен на пассивных двухканальных барьерах типа БИБ-02. Выходные сигналы шифратора в виде двух дифференциальных квадратурных последовательностей импульсов после блока искрозащиты поступают на блок обработки квадратурных сигналов. Дифференциальные выходы использованы для повышения надежности передачи информации ввиду удаленности электронного блока от датчика в условиях промышленных помех.

Блок обработки производит программное декодирование квадратурных сигналов с выделением импульсов прямой и обратной последовательностей, соответствующих перемещениям изделия вперед и назад соответственно. Скорость выхода вычисляется с учетом обеих последовательностей, что существенно снижает погрешность, обусловленную вибрацией и ударными воздействиями. Интервалы времени между фронтами импульсов усредняются и преобразуются в токовый унифицированный сигнал 4...20 мА для передачи в систему управления и цифровое значение скорости, выводимое на индикатор, расположенный на передней панели.

Измерители выпускаются в двух модификациях: ИС-1 - для крупногабаритных промышленных блоков и ИС-2 для промышленных малогабаритных установок [1].

#### Основные технические характеристики измерителей ИС-1 и ИС-2.

Диапазон измеряемой скорости, мм/мин....40...999  
Относительная погрешность измерителя, %..... $\leq 3$   
Температура окружающего воздуха для датчика, °С.....0...70  
Уставка срабатывания аварийной сигнализации минимальной скорости, мм/мин.....50  
Время реакции измерителя на остановку изделия, с..... $\leq 3$

Достоинством данного метода являются возможность точного измерения скорости выхода изделия. Также измерение длины изделия с помощью мерного колеса возможно при движении изделий непосредственно друг за другом без интервалов. Недостатком метода является контакт мерного колеса и готового изделия и, как следствие, возникновение «проскальзывания», что приводит к ложным показаниям значения длины.

#### Бесконтактные оптические средства измерения длины изделия

С 1970-80-х годов в России, США, Германии, Японии и Дании начали разрабатываться лазер-

ные и оптические измерители скорости и длины на базе доплеровских, времяимпульсных, растровых и корреляционных методов. Эти приборы не имеют механического контакта с контролируемым объектом и, соответственно, погрешностей, связанных с проскальзыванием, износом, налипшей грязью. Практически не требуют калибровок и профилактического обслуживания, рассчитаны на широкую номенклатуру контролируемых изделий. Сегодня на рынке предлагаются различные модели лазерных доплеровских измерителей скорости и длины, а также оптические измерители на основе растровых анализаторов или ПЗС-камер, использующие некогерентные источники излучения. Эти приборы обеспечивают высокую точность измерения (0,05... 0,2%) в широком диапазоне скоростей и ускорений и рассчитаны на расстояние до объекта в диапазоне 30...300 мм. Они надежно работают практически с любыми поверхностями от черных матовых до блестящих металлических [2].

#### Система бесконтактного измерения на основе лазерного дальномера

Основным элементом данной системы является лазерный измеритель скорости и длины - взрывозащищенный дальномер Lasertech LM 10.

Принцип действия лазерного измерителя основан на использовании эффекта Доплера, согласно которому, частота принятого сигнала, отраженного от цели, может отличаться от частоты излученного сигнала, и разница зависит от соотношения скоростей объектов относительно друг друга.

Лазерный доплеровский измеритель скорости делит при помощи призм Волластона излучение на три канала. В каждом канале установлены фотоприемники, которые регистрируют доплеровский сдвиг, что обеспечивает измерение трех проекций вектора скорости. За счет одновременного измерения трех проекций вектора скорости при минимальном числе лазерных пучков, формирующих зондирующее поле, и использования только одного акустооптического модулятора обеспечивается повышение точности измерения скорости.

Кроме лазерного измерителя в состав системы измерения должны входить переключательное устройство и дополнительный конвейер для уже измеренных и отрезанных изделий (рис. 6).

На безопасном расстоянии от ножа устанавливается дальномер, лазерный луч которого направлен в торец изделия, выходящего из пресса. При выходе изделия из пресса происходит постоянное измерение расстояния между датчиком и торцом изделия. При этом расчетным методом определяется длина и скорость движения изделия. При достижении требуемой длины происходит выдача управляющего сигнала на нож. Изделие отрезается и с помощью опрокидывателя перемещается на дополнительный конвейер. Далее луч измерителя начинает отчет расстояния до торца следующего изделия, и цикл повторяется.

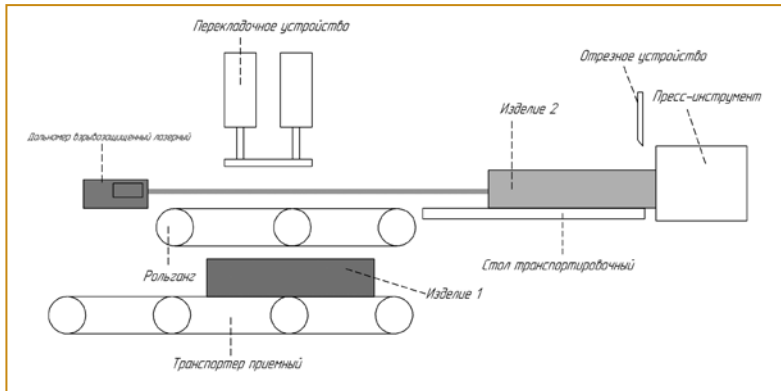


Рис. 6. Система измерения скорости и длины на основе лазерного измерителя скорости и длины



Рис. 7. Структура датчика VLM500A

#### Основные технические характеристики измерителя дальномера Lasertech LM 10

Диапазон измерения, м.....	0,05...65
Точность измерений, мм.....	1,0
Средняя точность измерений, мм.....	0,3
Энергообеспечение, В.....	9...30
Потребляемая мощность, А.....	≤0,6
Класс защиты.....	IP65

#### Бесконтактное измерение длины и скорости движущихся материалов на основе датчика VLM500A

В основе данного метода измерения длины движущихся изделий лежит бесконтактный высокоточный датчик VLM500A для измерения длины и скорости. Структура датчика изображена на рис. 7.

Рассмотрим принцип работы датчика VLM500A. Источник белого света, мощный светодиод (LED) посредством первого объектива создает на поверхности измеряемого материала световое пятно, изображение

которого на уровне кристаллической решетки через второй объектив считывается фотодиодной матрицей высокого разрешения. Изображение анализируется быстродействующим мощным процессором, который по последовательности смены изображений рассчитывает скорость материала, вплоть до 50 м/с. В основе датчика VLM500A лежит пространственно распределенный частотный фильтр, который позволяет выполнять бесконтактное измерение длины и скорости движущихся материалов. Такой принцип обеспечивает фильтрацию выделенных решетчатых структур (так называемая импульсная сеточная модуляция). Оптически

различные структуры поверхности материала распознаются, программно структурируются как решетка и передаются на CCD-датчик<sup>1</sup>. Оптические датчики, которые используют этот принцип, работают без соприкосновения с поверхностью объекта и обеспечивают таким образом полностью бесконтактное измерение.

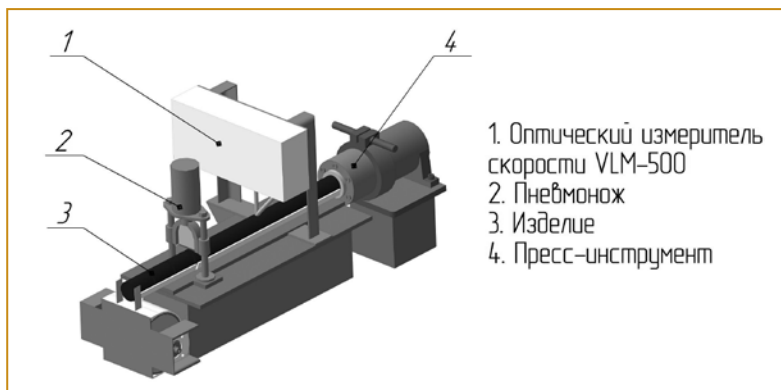
Через объектив измеряемый объект отображается на строку датчика CCD, который действует как дифференциальная оптическая решетка. Это специализированная аналоговая микросхема, состоящая из светочувствительных фотодиодов, использующая технологию приборов с зарядовой связью. Строка CCD работает только как оптическая решетка и не используется для съемки изображения. Интегрированный в датчик источник белого света служит для освещения измеряемого объекта. Влияние внешнего света эффективно подавляется в процессе отображения объекта. Этот вопрос был решен технологически.

Вследствие импульсной сеточной модуляции при движении объекта возникает импульсный сигнал, частота которого пропорциональна скорости объекта. Из измеренной частоты сигнала рассчитывается скорость и длина объекта. Благодаря многоконтурному регулированию сигнала и сложным алгоритмам происходит практически автоматическое приспособление датчика к различным структурам, освещенности и поверхности материалов.

Бесконтактный высокоточный измеритель VLM500A предназначен для измерения с точностью до 0,05% длины и скорости различных непрерывно движущихся материалов. Независимо от материала VLM500A измеряет бесконтактным способом длину и скорость, и, благодаря его интерфейсам, может быть оптимальным способом интегрирован в процесс автоматизации и обеспечения качества. При измерении отсутствует контакт, проскальзывание и износ поверхностей, обеспечивается высокая точность и надежность.

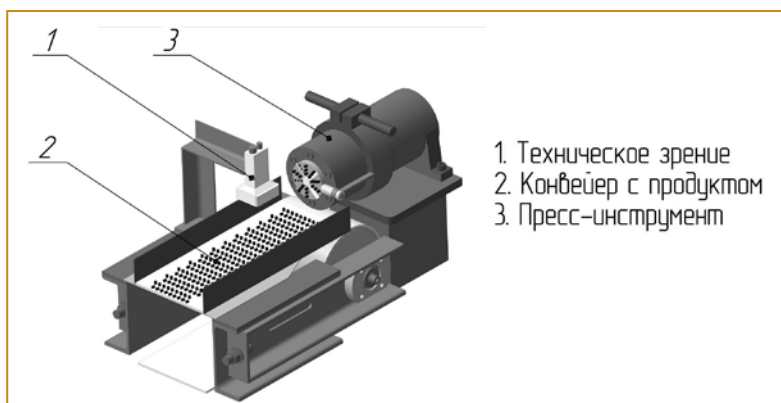
Система бесконтактного измерения скорости и длины на основе оптического измерителя изображена на рис. 8.

<sup>1</sup> CCD (Charge-Coupled Device) – технология сканирования изображения с использованием сенсоров ПЗС (прибор с зарядовой связью).



1. Оптический измеритель скорости VLM-500
2. Пневмонож
3. Изделие
4. Пресс-инструмент

Рис. 8. Система бесконтактного измерения скорости и длины на основе оптического измерителя VLM500A



1. Техническое зрение
2. Конвейер с продуктом
3. Пресс-инструмент

Рис. 9. Система бесконтактного измерения длины на основе камеры технического зрения Cognex In-Sight 2000

По показаниям оптического измерителя формируется сигнал на отрезной нож, после чего изделия по конвейерной системе передаются дальше для их сортировки и укладки.

К недостаткам данного метода отнесем высокую стоимость измерителя VLM500A, отсутствие взрывозащищенного исполнения (базовое исполнение IP65, доступно исполнение в корпусе с избыточным давлением воздуха) и достаточно крупные габаритные размеры [3].

#### Основные технические характеристики измерителя VLM500A

Диапазон измеряемых скоростей, м/мин.	0,001...50,0
Абсолютная погрешность, %	0,1
Повторяемость результатов, %	0,025
Энергообеспечение, В	24
Потребляемая мощность, Вт	≤20
Класс защиты	IP65

#### Бесконтактное измерение длины и скорости движущихся материалов на основе технического зрения

В последнее время активно развивается способ измерения скорости и длины, в основе которого лежит

использование систем машинного зрения. Такие системы состоят из камер, процессоров, источников света, различных датчиков и программного обеспечения. Современные системы машинного зрения объединяют весь состав устройств в одно. Рассмотрим систему измерения длины движущихся изделий, построенную на базе камеры технического зрения Cognex In-Sight 2000 (рис. 9).

Камера технического зрения представляет собой компактный, готовый к работе в сети автономный датчик технического зрения, с помощью которого можно обеспечить получение качественных изображений, их последующую обработку и преобразование.

В процессе реализации системы бесконтактного измерения были разработаны и экспериментально проверены два способа измерения геометрии деталей.

#### Измерение геометрии деталей на конвейере

Камера технического зрения устанавливается над конвейером (рис. 9) и измеряет геометрические параметры выходящих после экструдера изделий. Специально разработанный алгоритм позволяет различить изделия, упавшие торцом и представляющие круг в проекции, и изделия, лежащие на боку и представляющие для камеры прямоугольник.

Камера осуществляет замер длины и ширины прямоугольника, и так как диаметр известен заранее, то оставшееся значение является длиной изделия. В зависимости от длины изделий формируются данные для корректировки частоты вращения ножа экструдера. На рис. 10 показан вид со стороны камеры.

У данного метода есть два недостатка:

– запоздалое время реакции на корректировку частоты вращения ножа экструдера, так как измерение изделий происходит на конвейере;

– невозможно распознавать габариты изделий, упавших торцем.

#### Измерение геометрии деталей на экструдере

Для устранения недостатков предыдущего метода было решено установить камеру технического зрения над экструдером и замерять геометрию изделий в момент их выхода из пресс инструмента и до момента их отреза экструдером. В зависимости от длины изделий формируются данные для корректировки частоты вращения ножа экструдера. На рис. 11 показан вид со стороны камеры.

Применение камер технического зрения Cognex In-Sight 2000 позволяет производить расчет не только геометрических параметров изделий, но также расстояние между изделиями, угол выхода изделия, наличие сколов и других параметров.

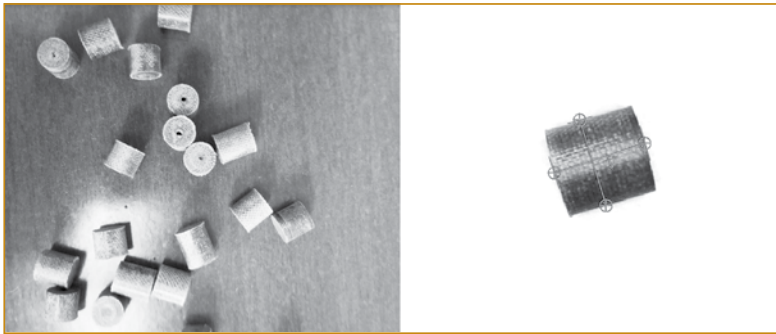


Рис. 10. Вид изделий на конвейере со стороны камеры технического зрения Cognex In-Sight 2000



Рис. 11. Вид изделий на экструдере со стороны камеры технического зрения Cognex In-Sight 2000

#### Заключение

Практически все описанные в данной статье системы измерений находят применение до сегодняшнего

дня. Учитывая современное развитие технологий, наиболее передовыми являются методы бесконтактного измерения. Дополнительным их преимуществом является возможность измерения мгновенной скорости выхода изделия, что в совокупности с измерением мощности, затрачиваемой аппаратом прессования, позволяет определить важный показатель — удельные энергозатраты (отношение затраченной на процесс прессование энергии в кВт·ч к единице произведенной продукции в кг). Контроль данного параметра значительно повышает безопасность процесса прессования высокоэнергетических материалов и позволяет идентифицировать аварийную ситуацию — срыв массы с рифов.

#### Список литературы

1. Тюрин О.Г., Жегров Е.Ф., Кальницкий В.С. Управление потенциально опасными технологиями. — М.: Инфа-инженерия, 2011.
2. Старчак А.С., Шкретов А.М. Лазерные доплеровские измерители скорости и длины протяжных объектов // Национальный исследовательский Томский политехнический университет. Институт неразрушающего контроля. 2013.
3. Акулин В.В., Бобровский А.А., Корнелюк О.А., Незнахин Д.Ю., Палочкин К.А., Тюрин О. Г. Опыт создания робототехнического комплекса в производстве пиротехнических элементов // Автоматизация в промышленности. 2020. №5

*Тюрин Олег Георгиевич — д-р техн. наук, проф. кафедры МиГПА ЮРГПУ (НПИ) им. М. И. Платова, Макаренко Виктор Григорьевич — к.т.н., доцент кафедры МиГПА ЮРГПУ (НПИ) им. М. И. Платова, Корнелюк Олег Александрович — главный инженер ООО фирма «Пластик Энтерпрайз», Савостьянов Федор Александрович — начальник сектора ООО фирма «Пластик Энтерпрайз. Контактный телефон 8-(8635) 22-41-50.*

#### «Свежа» роботизировала типовые процессы в логистике

Компания «Свежа» - мировой лидер в производстве березовой фанеры - завершила пилотный проект по роботизации части процессов, связанных с поддержкой продаж в логистике. Новый инструмент позволит в 4 раза увеличить скорость процесса и снизить до нуля число ошибок по выпуску коносаментов перевозчикам продукции.

За основу новой разработки был взят процесс RPA (современная технология автоматизации процессов, которая основана на использовании программных роботов) в части передачи инструкций на выпуск коносаментов (документов на контейнерные перевозки) перевозчику. В этом процессе при нестандартных заказах, а их около 5%, существует более высокий риск

неправильного выпуска коносаментов, что может вызвать проблемы как для клиента, так и для компании.

Разработка кейса заняла полгода. В результате внедрения программного обеспечения на базе искусственного интеллекта в процесс оформления коносаментов удалось увеличить скорость работы в 4 раза и снизить число ошибок до нуля. Окупаемость разработки составляет 4,5 мес.

Роботизация типовых процессов позволяет работать с большим объемом данных, проверять каждый, а не выборочно, документ. Кроме того, что RPA работает быстрее, чем человек и не ошибается.

В дальнейших планах «Свежи» масштабирование системы.

[Http://www.sveza.ru](http://www.sveza.ru)