

**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ  
ФОРМИРОВАНИЯ ЗАДАНОЙ ТОЛЩИНЫ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ  
ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ В ЭКСТРУЗИОННЫХ ЛИНИЯХ**

**ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ  
ФОРМУВАННЯ ЗАДАНОЇ ТОВЩИНИ ПОЛІЕТИЛЕНОВИХ ТРУБ  
ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ В ЕКСТРУЗІОННИХ ЛІНІЯХ**

**IMPROVING THE CHARACTERISTICS OF EXTRUSION LINES  
FOR THE PRODUCTION OF PLASTIC PIPES**

**Р.К. МАМЕДОВ**, докт. техн. наук, **Р.З. НОВРУЗОВА**

*Азербайджанский государственный университет  
нефти и промышленности, Азербайджан*

*У статті поставлено завдання підвищення точності формування заданої товщини стінок поліетиленових труб. Запропоновано конструктивні, алгоритмічні та програмні методи розв'язання задачі. Відзначено дестабілізуючі фактори, що впливають на точність формування заданої товщини стінки труб, і запропоновані способи усунення основних факторів, що впливають на виникнення помилок при виробництві пластикових труб.*

**Ключові слова:** екструзія, пластикові труби, товщина стінки, дозатор, похибка.

*В статье поставлена задача повышения точности формирования заданной толщины стенок полиэтиленовых труб. Предложены конструктивные, алгоритмические и программные методы решения задачи. Отмечены дестабилизирующие факторы, влияющие на точность формирования заданной толщины стенки труб, и предложены способы устранения основных факторов, влияющих на возникновение ошибок при производстве пластиковых труб.*

**Ключевые слова:** экструзия, пластиковые трубы, толщина стенки, дозатор, погрешность.

*The article poses the task of increasing the accuracy of forming a given wall thickness of polyethylene pipes. The constructive, algorithmic and software methods for solving the problem are proposed. The destabilizing factors affecting the accuracy of forming a given pipe wall thickness have been noted and methods for eliminating the main factors affecting the occurrence of errors in the production of plastic pipes have been proposed.*

**Keywords:** extrusion, plastic pipes, wall thickness, dispenser, error.

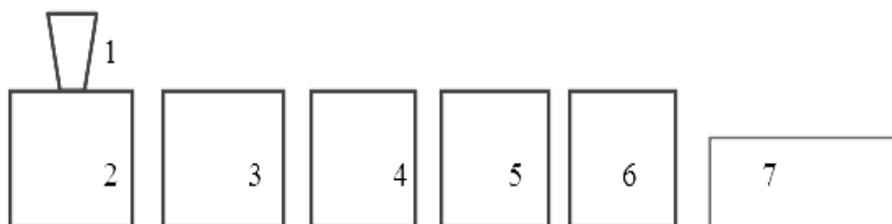
**Введение.** Полиэтиленовые трубы разной толщины благодаря высоким техническим характеристикам, удобству применения и доступной цене широко применяются в различных отраслях экономики. Они имеют следующие преимущества перед стальными трубами: малый удельный вес; низкая стоимость; долговечность; простота монтажа; коррозионная стойкость; гигиеничность.

Однако, имеются некоторые слабости полиэтиленовых труб перед стальными. Одним из этих недостатков является недостаточная прочность полиэтиленовых труб.

На прочность полиэтиленовых труб во многом влияет точность формирования толщины стенки трубы, которая в силу действия различных дестабилизирующих факторов на сегодня недостаточна [1; 2; 3].

В силу того, что существующие системы управления экструзионными линиями производства полиэтиленовых труб не позволяют достичь определенной точности формирования заданной толщины труб, нами разработаны меры для повышения точности формирования заданной толщины полиэтиленовых труб.

**Постановка задачи.** На сегодня для производства пластиковых труб из полиэтилена используются следующая структура трубной экструзионной линии. Погрешность формирования толщины пластиковых труб при использовании этой линии составляет 1 %.



*Рис.1. Структура трубной экструзионной линии*

**Изложение основного материала.** На рис.1 приняты следующие обозначения: 1 – бункер; 2 – экструдер; 3 – вакуумная ванна; 4 – охлаждающая ванна; 5 – тянущий механизм; 6 – отрезной механизм с планетарным режущим агрегатом; 7 – откидной стол.

Линия работает следующим образом.

Сырье засыпается в бункер на экструдере.

Тензодатчик гравиметрического дозатора для измерения веса сырья прикреплен к бункеру, который соединен с шасси линии. Экструдер состоит из шнека с цилиндром и нагревателей для придания трубе необходимой формы. Путем разогрева сырья и посредством шнека сырье двигается в полости цилиндра. Затем сырье в расплавленном виде попадает в формирующую головку, где оно принимает вид полый трубы.

---

Посредством вакуумной ванны и калибратора расплавленный материал, прижимаясь посредством вакуума к стенкам калибратора, принимает вид трубы с необходимым диаметром.

Тянущее устройство, растягивая расплавленный материал, обеспечивает формирование заданной толщины стенки трубы. После того, как длина трубы достигнет 12 м, труба отрезается с помощью планетарного режущего агрегата и посредством роликового стола перемещается до изъятия трубы для дальнейшей транспортировки.

В течение всего процесса труба до тягача принудительно охлаждается в водяной ванне. Пластичные материалы при охлаждении имеют усадку, которая обычно составляет 1-2 %. Поэтому толщина стенки трубы измеряется только после полного ее остывания с помощью измерительных инструментов (штангенциркуля, рулетки и т.д.).

Экструзионная линия для производства пластиковых труб оснащена автоматической системой контроля.

В ее состав входит микропроцессор, пульт управления клавиатурой, а также блок памяти, в который закладываются различные технологические параметры. Это дает возможность производить на одной линии изделия с различными характеристиками. Для этого достаточно ввести в блок памяти соответствующую программу [4].

Для решения поставленной задачи был проведен анализ причин возникновения погрешностей формирования толщины стенок труб.

Для этого анализируется работа автоматической системы контроля, которая состоит из 2 частей, связь между которыми осуществляется СОМ портами: операторская панель и программный логический блок (ПЛК).

Данные блоки работают под управлением программ, которые в свою очередь состоят из 2 частей.

Первая часть программ записывается в операторскую панель, а вторая – в PLC. Записанная первая часть программ подразделяется на несколько частей. Они состоят из страниц, которые отображаются на операторской панели для визуализации, и ввода данных операторами. Вторая часть программ непосредственно заносится в PLC.

Для упрощения написания программы используется язык программирования LAD (LadderDiagram). Программа, которая заносится в PLC, управляет драйверами на основе сбора данных от датчиков. Весь этот процесс синхронизируется в режиме реального времени.

Ниже описаны и приведены части программ с пояснениями и алгоритмом работы всего процесса.

Рассмотрим пример. Используемые блоки GMT операторская панель. ПЛК фирмы GMT. Программное обеспечение GMT soft версии 2.3, для операторской панели, а для ПЛК GMT версии 5.0.1.4.

Связь между блоками осуществляется с помощью сом порта PPI кабелей. В свою очередь ПЛК имеет свои расширения ввода-вывода и связь между исполнительными органами осуществляется экранированными проводами для помехоустойчивости системы. В качестве устройства ввода для ПЛК являются тензодатчик, тахогенератор, сенсоры. А для вывода драйвера и релейная сборка.

При первом включении станка открывается монитор. После выбора языка оператором открывается второе окно. Здесь мы видим области для ввода температурных режимов, визуализации реальных температур, оборотов шнека, скорости тянущего механизма, силы тока двигателей и т.д.

Оператор первым делом вводит нужные данные температур, предписанные сертификатом на сырьё, далее после прогрева цилиндра линия считается готовой к работе. Если температуры не достигли заданных величин, программа не даст возможности для включения двигателей шнека. Это является аварийной ситуацией для шнека. После прогрева, контрольно включается шнек, и задаются обороты шнека. На главном окне операторской панели есть два варианта работы. Первый вариант ручной, а второй автоматический (весовой дозатор).

После того как оператор в ручном режиме опробовал линию он нажимает кнопку гравиметрического контроля и вводит диаметр, толщину стенки трубы. Далее программа, записанная в мониторе, передаёт вводимые оператором данные в ПЛК, где и обрабатывается вводимая информация, вычисляется вес на 1 погонный метр трубы и ПЛК выдаёт драйверам тянущего устройства значение скорости, с которым должен тянуть тянущее устройство. Вся эта процедура управляется в автоматическом режиме.

Весь процесс происходит синхронно во времени. При написании программы учитываются ошибки операторов с возможностью исключения аварийных ситуаций.

Когда оператор вводит данные о диаметре и толщине стенки трубы, ПЛК посредством данных оператора и данных с тензодатчика вычисляет реальную весовую отдачу с установленным весом и при их совпадении даёт команду драйверу двигателя тянуть трубу с той скоростью, при которой соблюдалось бы условие веса в 1 погонный метр. Программист пишет условия, формулы, а также привязывает все эти данные ко времени.

Подробный анализ всего процесса показывает, что формирование толщины стенок пластиковых труб с погрешностью в пределах ГОСТа в существующих экструзионных линиях достигается лишь ценой перерасхода сырья или же после шестиметрового отрезка трубы.

$$\sigma = f\left(v, \Delta p, \Delta T_r, \frac{\partial T_r}{\partial t}, \Delta T_c, \frac{\partial T_c}{\partial t}, \frac{\partial V_d}{\partial t}, \Delta m\right), \quad (1)$$

где  $v$  – вибрация экструзионной линии;

$\Delta\rho$  – абсолютное изменение плотности сырьа;

$\frac{\partial V_d}{\partial t}$  – нестабильность скорости тягача;

$\Delta m$  – нестабильность массы сырьа.

Все эти нестабильности так или иначе влияют на точность формирования заданной толщины трубы.

Для повышения точности формирования заданной толщины труб предложены способы устранения этих недостатков.

Поскольку в гравиметрическом дозаторе для измерения веса тензодатчик прикреплен к бункеру, который соединен с шасси линии, то возникают вибрации, которые приводят к дополнительной погрешности формирования толщины стенок труб.

Предложено использовать дополнительный бункер, который механически не соединен с экструзионной линией. Сырье засыпается в дополнительный бункер, а оттуда поступает в основной бункер.

В этом случае вибрация дополнительного бункера не происходит. Тензодатчики для гравиметрического весового дозатора в существующих линиях устанавливаются под бункером экструдера или подвешиваются над бункером, что является недопустимым с точки зрения вибрационных помех, оказывающих влияние на тензодатчик.

Предлагается тензодатчики устанавливать в танкер, откуда будет транспортироваться сырье в бункер.

Для решения проблемы с нестабильностью плотности сырьа было изменено программное обеспечение и внесены дополнительные параметры (плотность сырьа из сертификата происхождения на сырье).

Теоретическая масса одного погонного метра трубы определяется следующим образом [5]:

$$m = \pi * (d - s) * s * \frac{\rho}{1000}, \quad (2)$$

где  $m$  – теоретическая масса одного погонного метра трубы в кг;

$\pi = 3,14$  (постоянная величина);

$d$  – наружный диаметр трубы в мм;

$s$  – толщина стенки трубы в мм;

$\rho$  – плотность материала в г/см.

Для стабильности длины и толщины стенки трубы с возможным браком предложено контролировать вес сырьа (0,219 кг) на изготовление каждого 10 см трубы вместо контроля веса сырьа (2,190 кг) на изготовление 1-го погонного метра трубы.

---

Для этого установлен гравиметрический дозатор с соответствующими тензодатчиками и мостовой измерительной схемой. В программу занесены соответствующие изменения.

Предлагаемый метод заключается в автоматизации производства путем формирования стандартной толщины стенки трубы путем контроля веса ее погонного метра.

Приведем пример:  $\Phi 110\text{PN}10\ S = 6,6\ \text{м} = 2,190\ \text{кг}$ .

Из примера видно, что для формирования толщины стенки трубы, равной 6,6 мм при ее длине в 1 метр требуется 2,19 кг сырья.

Для реализации этого метода будем использовать датчик веса, систему управления тянущим устройством и тахогенератор для обзора и управления скоростью перемещения трубы на линии.

Отметим, что ГОСТ по пластиковым трубам гласит, что труба в зависимости от диаметра должна иметь определенную толщину стенки с допустимым разбросом в положительную сторону.

Таким образом, для трубы  $\Phi 110\ \text{PN}10$ , толщина стенки должна быть  $6,6\ \text{мм} + 0,8\ \text{мм}$ , то есть  $\text{min } 6,6\ \text{мм}$  и  $\text{max } 7,4\ \text{мм}$ .

Гравиметрия INOEX дает результат в пределах этих толщин, а именно – 7,2 мм, что приводит к перерасходу сырья.

Это происходит по следующей причине.

При приближении толщины стенки трубы к отметке 6,6 мм, операторам линий приходилось на операторской панели с помощью дозатора уменьшать вес поступающего сырья, чтобы приблизиться к нижнему пределу толщины стенки и, тем самым, уменьшить перерасход сырья.

Это требовало от операторов линий высокой квалификации и приводило к риску выхода толщины стенки за допустимые пределы.

Для уменьшения длины трубы с возможным браком с 6 м до 10 см предложено контролировать вес сырья (0,219 кг) на изготовление каждые 10 см трубы вместо контроля веса сырья (2,190 кг) на изготовление 1-го погонного метра трубы.

Рассмотрим процессы, которые происходят с сырьем при его нагревании.

Сырье имеет твердый вид гранул фракции 4-5 мм и завозится в мешках по 25 кг.

К сырью прилагается сертификат соответствия, в котором указываются его технические и химические данные.

В сертификате сырья указывается процент влажности.

Сырье засыпается в бункер, который прикреплен к экструдеру. Экструдер состоит из цилиндра, внутри которого вращается червяк.

Сам цилиндр нагревается за счет нагревателей, размещенных на цилиндре. Зоны нагрева 6-8. Температура нагрева указывается в сертификате и колеблется в диапазоне  $190^{\circ}\text{C}$ - $210^{\circ}\text{C}$ .

Перемещаясь в полости цилиндра, сырье, расплавляясь, движется к головке.

1. В конце головки оно полностью расплавляется и приобретает вид мягкой монолитной массы.

При выходе из головки оно естественно теряет массу. Масса отличается от ее первоначального состояния.

Происходит это из-за испарений, после разогрева. Из опытов, сделанных на заводе Croplast г. Баку, были получены данные, показанные в табл. 1.

Таблица 1

Данные опытов на заводе Croplast

Температура плавления, С <sup>0</sup>	Время выдержки, Т <sub>мин.</sub>	Потеря массы, %
190	15	0,028
200	15	0,031
210	15	0,032

При нагреве испаряется не только влага, но и некоторые компоненты пластика.

Пластик тоже меняет свой объем, увеличиваясь, достигает 16-21 % при 210<sup>0</sup> от первоначального состояния при 23<sup>0</sup>. После ее остывания до 23<sup>0</sup> сырье подвергается усадке, которая составляет 16-21 %.

Выйдя в виде мягкой монолитной массы, сырье входит в калибратор, где оно, прижимаясь к стенкам калибратора, принимает вид полой трубы. Происходит это за счет вакуум-насосов.

Двигаясь дальше по линии, труба за счет принудительного водяного охлаждения охлаждается до 23<sup>0</sup>.

И далее режется на отрезки. Как мы наблюдаем, сырье претерпевает три состояния: твердое, мягкое разогретое и твердое первоначальное.

При изменении его состояния оно меняет свой вес  $\Delta m$  и объем  $\Delta v$ .

Из-за потери  $\Delta m$ , которое составляет  $\approx 0,03\%$ , оно теряет и объем  $\Delta v$ .

Нестабильность терморегуляторов, которые неравномерно разогревают сырье в полости цилиндра, способствует задерживанию сырья и неравномерному движению сырья в экструдере, которые в свою очередь влияют на скорость выхода массы сырья из головки.

Тянущее устройство при протяжке трубы имеет тоже свои погрешности. Причины заключаются в перепадах напряжения, переменной нагрузки и проскальзывании трубы из-под гусениц тянущего устройства.

В табл. 2 даны результаты исследований поведения тягача в течение 1 часа.

Таблица 2

*Результаты исследований поведения тягача в течение 1 часа*

Перепад напряжения, В	Нагрузки, А	Буксовка, мм
384	7,3	1,2
396	7,8	1,16

В табл. 3 даны результаты сравнения толщины стенки при производстве трубы гравиметрического контроля фирмы INOEX и фирмы Croplast.

Таблица 3

*Результаты сравнения толщины стенки при производстве трубы гравиметрического контроля фирмы INOEX и фирмы Croplast*

Толщина стенки по ГОСТ, мм	INOEX	Croplast
6.6	7,2	6,8
42.1	45,6	42,7

Таким образом, влияние всех трех факторов на погрешность формирования толщины стенки трубы были частично устранены.

Предложенные решения были реализованы при производстве пластиковых труб на заводе «Croplast» (г. Баку).

**Выводы.** В представленной статье предлагается более практичный способ повышения точности заданной толщины полиэтиленовых труб в экструзионных линиях.

В результате реализации этого подхода уменьшается погрешность формирования толщины труб, экономится сырье, повышается производительность и уменьшаются финансовые затраты (на электричество и рабочую силу).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Техника и технология производства полимерных труб [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.kazgp.ru/teoriya/31-tehnika\\_i\\_tehnologiya\\_proizvodstva\\_polimernyih\\_trub.html](http://www.kazgp.ru/teoriya/31-tehnika_i_tehnologiya_proizvodstva_polimernyih_trub.html)*
2. *Технические характеристики труб [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.kazgp.ru/teoriya/25-tehnicheskie\\_harakteristiki\\_trub.html](http://www.kazgp.ru/teoriya/25-tehnicheskie_harakteristiki_trub.html)*
3. *Экструзионные линии для производства труб [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://newpostavka.ru/linii\\_po\\_proizvodstvu/proizvodstvo\\_trub](http://newpostavka.ru/linii_po_proizvodstvu/proizvodstvo_trub)*

4. Мамедов Р.К. Усовершенствование систем контроля экструзионных линий для производства пластиковых труб / Р.К. Мамедов, Р.З. Новрузова // Приборы и Системы. Управление, Диагностика и Контроль. – 2016. – № 10. – С. 46-48.
5. Бронштейн И.Н., Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1981.

Стаття надійшла до редакції 20.09.2017