

**ЖУКОВ С. А., ШИШОВ О. В.**

**ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
НАЛОЖЕНИЯ ПОЛИМЕРНОЙ ИЗОЛЯЦИИ  
ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ КАБЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ**

**Аннотация.** Анализируются известные системы регулирования параметров токоизолирующего оборудования. Рассматриваются возможности оптимизации режимных параметров работы оборудования для наложения полимерной изоляции.

**Ключевые слова:** оптимизация, экструдер, система регулирования, автоматизация.

**ZHUKOV S. A., SHISHOV O. V.**

**OPTIMIZATION OF OPERATING MODES OF CONTROL SYSTEM  
FOR APPLICATION OF POLYMER INSULATION  
AT MANUFACTURING OF CABLE PRODUCTS**

**Abstract.** The established systems for regulating the parameters of current-insulating equipment are analyzed. The possibilities of optimizing the operating parameters of the equipment for applying polymer insulation are considered.

**Keywords:** optimization, extruder, regulation system, automation.

Основные показатели качества при производстве телефонного кабеля во многом определяются процессом наложения на токопроводящие жилы полимерной изоляции. В структуру технологического оборудования для наложения полимерной изоляции входят экструдер, ванна охлаждения и тяговое устройство. Однако параметры изоляции, определяющие эксплуатационные показатели качества кабеля, закладываются, в первую очередь, в экструдере.

В технологическом процессе производства кабелей в большинстве своем используют шнековый экструдер. Основа конструкции данного экструдера заключается в наличии шнека с винтовой канавкой или нарезкой. Данный шнек помещается в нагреваемый цилиндр, длина которого зависит от типа полимера и технологии его переработки [4].

Экструдер имеет три рабочие зоны: загрузки, плавления и дозирования, оптимизированное управление которыми определяет качество наложения полимерной изоляции. Функциональная схема экструдера представлена на рисунке 1.

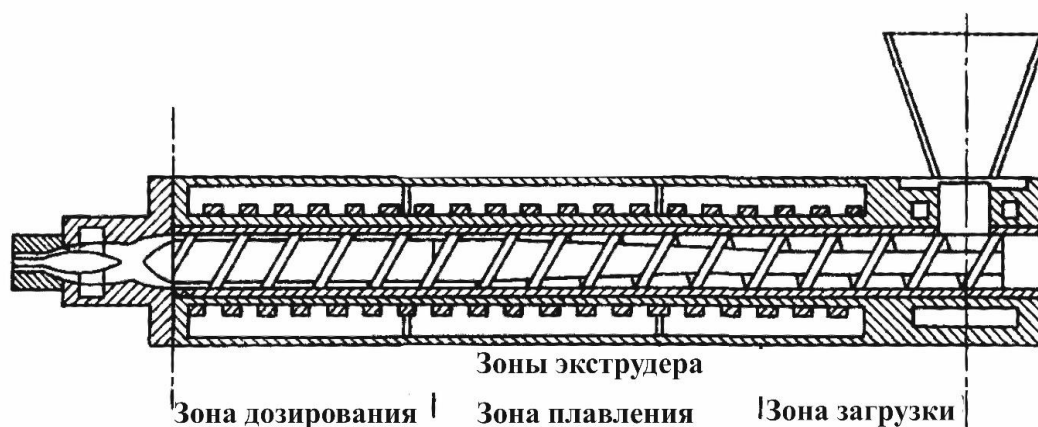


Рис. 1. Функциональная схема экструдера.

За зону загрузки принимают длину шнека экструдера от отверстия загрузки до места появления слоя расплава на поверхности шнека. В данной зоне происходит загрузка пластика в виде гранул. Попав в эту зону, гранулы захватывается нарезкой шнека и перемещается вдоль оси шнека по направлению ко второй и третьей зонам.

Зона плавления представляет собой участок шнека от начала появления расплава до полного или частичного плавления гранул полимера с обязательным разрушением твердого слоя на части и образованием вязкого течения расплава. В данной зоне глубина нарезки шнека, как правило, уменьшается, что, в свою очередь, приводит к увеличению продольного давления, передаваемого уже через жидкий полимер.

В зоне дозирования происходит окончательное плавление оставшихся частиц, выравнивание температуры расплава полимера путем тщательного перемешивания расплава до придания ему однородных свойств за счет сдвиговых деформаций в каналах шнека. Работа именно этой зоны определяет производительность экструдера и непосредственно влияет на качество выходящего расплава. В зоне дозирования определяются три наиболее важных параметра, определяющих качество наложения полимерной изоляции:

- 1) температура расплава полимера на выходе зоны дозирования;
- 2) градиент давления расплава полимера на выходе зоны дозирования;
- 3) объемная производительность экструдера.

Данные параметры значительно влияют на формирование диаметра и диэлектрической проницаемости изоляции, на погонную емкость кабеля. Высокое качество наложения полимерной изоляции обеспечивается оптимальным управлением этими параметрами.

Задача оптимизации процесса наложения полимерной изоляции на токопроводящую жилу не нова. Непрерывное ужесточение требований, предъявляемых к кабельной

продукции, вынуждает предприятия отрасли искать новые подходы к совершенствованию систем управления наиболее ответственных зон производства. Решение указанной задачи обсуждается на конференциях и в научных работах. Однако в своем большинстве данные рассуждения представляют собой лишь рекомендации относительно выбора оптимальных критериев работы оборудования и действий оператора, но не определяют первопричины того, что мешает добиться высоких показателей качества, не дают конкретных рекомендаций к перестройке технологического процесса и оборудования.

На текущий момент толщина полимерной изоляции на большинстве предприятий, производящих кабель, регулируется путем изменения скорости протяжки кабеля через экструзионную линию за счет управления приводом кабестана. Функциональная схема управления данным процессом представлен на рисунке 2.

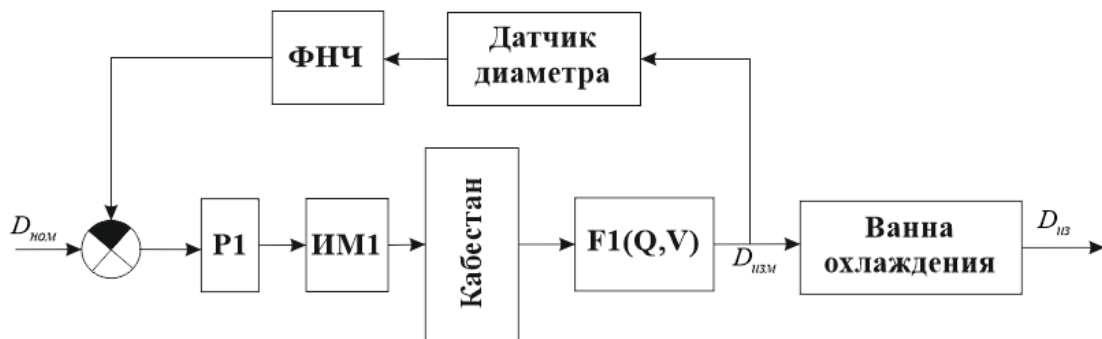


Рис. 2. Функциональная схема управления процессом наложения полимерной изоляции при управлении приводом кабестана:  $D_{ном}$  – номинальное значение диаметра изоляции в месте измерения;  $D_{изм}$  – диаметр изоляции, измеренный на выходе экструзионной линии;  $D_{из}$  – диаметр изоляции, измеренный на выходе ванны охлаждения;  $PI$  – регулятор контура регулирования диаметра;  $ИМ1$  – исполнительный механизм тянущего устройства (привод кабестана);  $ФНЧ$  – низкочастотный фильтр;  $Q$  – весовая производительность экструдера;  $V$  – протяжки кабельной жилы;  $F1$  – аналитическая зависимость, связывающая значения соответствующих параметров.

Датчик диаметра измеряет диаметр кабеля на выходе экструзионной линии. По вычисленной величине отклонения диаметра от заданного значения вырабатывается управляющее воздействие на привод принимающего устройства. При заданной весовой производительности экструдера диаметр изоляции будет уменьшаться при увеличении скорости протяжки кабельной жилы и увеличиваться – при ее уменьшении. Подобная система регулирования диаметра изоляции кабеля применяется повсеместно. Она способна устранять низкочастотные нерегулярности диаметра полимерной изоляции, связанные с неравномерностью нагрева полимера. Для исключения случайных высокочастотных

колебаний диаметра, помех, действующих на измерительные цепи, в схеме управления установлен низкочастотный фильтр.

Однако измерения диаметра кабеля на выходе экструзионной линии, проводимые специалистами на различных предприятиях отрасли, показывают, что кроме его низкочастотных отклонений от номинального значения, наблюдаются регулярные высокочастотные колебания. Регулярный характер этих колебаний однозначно свидетельствует, что он связан с фазами работы технологического оборудования. Такие исследования проводились и на предприятии ООО «Сарансккабель». Поиск возможных источников таких колебаний проводился на основе анализа применяемого технологического оборудования, а также учета результатов аналогичных исследований на других предприятиях страны.

Отсекая возможные причины, в качестве окончательного был принят вывод о том, что высокочастотные нерегулярности диаметра полимерной изоляции, как и низкочастотные, связаны с градиентом давления на выходе зоны дозирования экструдера.

Градиент давления является одним из основополагающих параметров, влияющим на качество наложения полимерной изоляции, так как чем больше перепад давления, тем большая часть расплава вращается вместе со шнеком, и доля расплава срезаемого с поверхности цилиндра нарезкой шнека уменьшается. Это, в свою очередь, приводит к понижению весовой производительности экструдера и появлению периодических неоднородностей диаметра изоляции кабельной заготовки, что и является конечным отрицательным эффектом.

Для устранения этого эффекта градиент давления необходимо рассматривать как возмущающее воздействие в системе стабилизации, влияние которого на неоднородность диаметра изоляции может быть уменьшено. Иными словами, система автоматического управления должна, помимо управления скоростью протяжки кабеля, также осуществлять качественное управление такими параметрами, как температура расплава полимера на выходе зоны дозирования и давление расплава полимера на выходе зоны дозирования экструдера. К аналогичным выводам приходят и авторы некоторых других исследований, в частности [1].

В работе [1] в качестве модели системы оптимизации режимных параметров токоизолирующего оборудования предлагается, в отличие от «традиционной» функциональной схемы процесса наложения полимерной изоляции (рис. 2), использование двухконтурной системы (рис. 3).

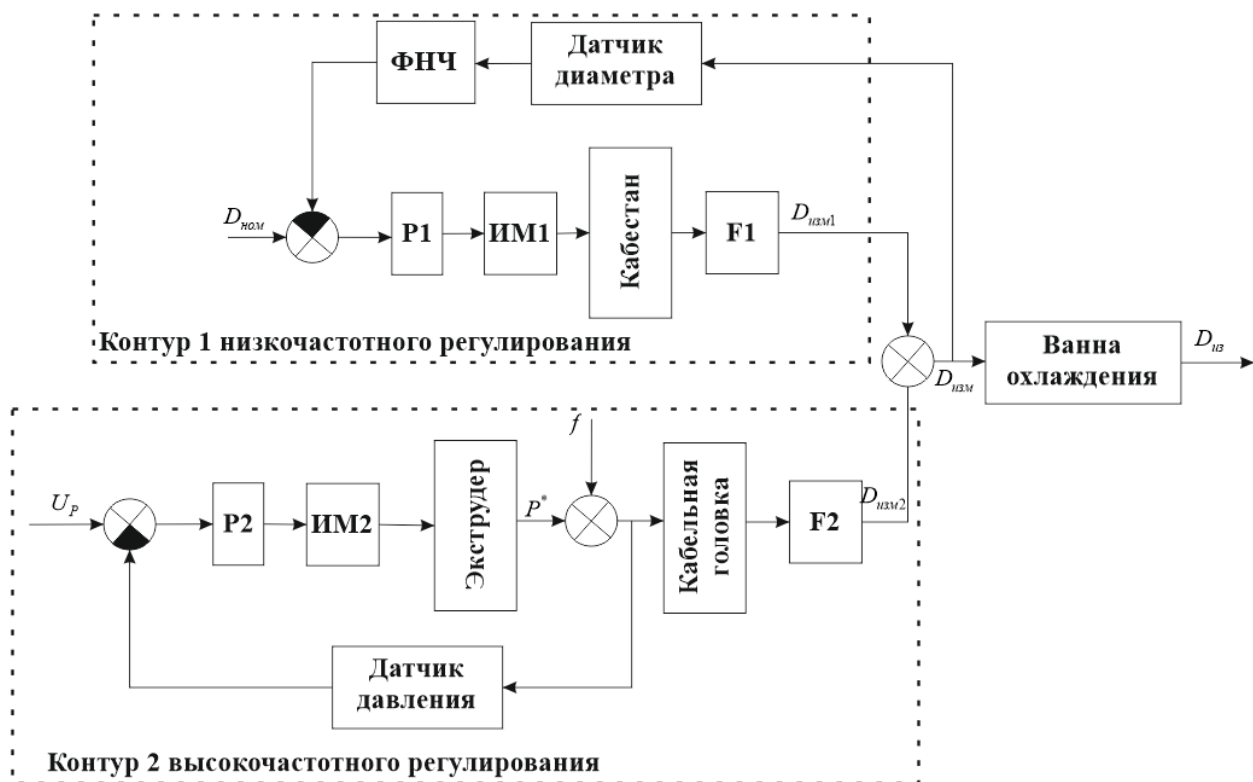


Рис. 3. Двухконтурная система стабилизации параметров режимов работы оборудования по наложению изоляции.

Данная модель, кроме элементов, представленных ранее на рисунке 2, включает:

$D_{изм2}$  – составляющие диаметра изоляции, формируемые в зависимости от весовой производительности экструдера;

$P2$  – регулятор контура регулирования давления;

$ИМ2$  – исполнительный механизм экструдера;

$P^*$  – давление расплава в зоне дозирования;

$U_p$  – номинальное значение давления расплава полимера;

$f$  – возмущение;

$F2$  – аналитическая зависимость, связывающая значения соответствующих параметров.

В данной системе независимо регулируются давление расплава полимера в зоне дозирования экструдера путем изменения скорости вращения шнека (контур 1) и диаметр изоляции – скоростью протяжки кабельной жилы (контур 2). Контур регулирования давления расплава полимера предназначен для устранения высокочастотных нерегулярностей изоляции, а контур регулирования диаметра – низкочастотных.

Применение в системе управления производственной линии свободно программируемых контроллеров [5; 6], позволило без особого труда ввести в ее компоненты

необходимые для реализации второго контура системы стабилизации аппаратные средства и соответствующие программные модули. Проведенные практические реализации использования данной модели показали хорошие результаты. Применяя двухконтурную систему управления, удалось добиться стабилизации диаметра изоляции с существенно меньшими средними погрешностями, что подтвердило правильность выводов об их источниках и направлениях борьбы с ними.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Митрошин В. Н. Регулирование давления расплава полимера в зоне дозирования одночервячного экструдера при пульсирующем градиенте давления // Вестник Самарск. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. – 2011. – № 1(29). – С. 39–44.
2. Митрошин В. Н. Синтез системы стабилизации давления расплава полимера в зоне дозирования одночервячного экструдера // Вестник Самарск. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. – 2011. – № 3(31). – С. 237–239.
3. Раувендааль К., Пилар М. Д., Норьега Е., Харрис Х. Выявление и устранение проблем в экструзии / пер. с англ. – 2-е изд. – СПб.: Профессия, 2011. – 368 с.
4. Панов Ю. Т., Чижова Е. В., Ермолаева Л. А. Современные методы переработки полимерных материалов. Экструзия. Литье под давлением: учеб. пособие. – Владимир: Изд-во Владим. ун-та, 2010. – 120 с.
5. Шишов О. В. Программируемые контроллеры в системах промышленной автоматизации. (Учебник). – М.: ИНФРА-М, 2016. – 365 с.
6. Шишов О. В. Современные технологии промышленной автоматизации. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2009. – 276 с.