

Федеральное государственное
автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно-строительный институт

Кафедра Строительных материалов и технологий строительства

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

И.Г. Енджиевская

подпись инициалы,
фамилия « _____ »
_____ 2021 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема: Совершенствование системы подачи краски в дорожном принтере

08.04.01 Строительство

код и наименование направления

08.04.01.00.07 Комплексная механизация и автоматизация строительства

код и наименование магистерской программы

Научный руководитель _____ проф., д-р. техн. наук Р.Т. Емельянов
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Выпускник _____ А.Д. Михалев
подпись, дата инициалы, фамилия

Рецензент _____ проф., д-р техн. наук В. И. Иванчура
подпись, дата должность, ученая степень инициалы, фамилия

Нормоконтролер _____ доц., канд. техн. наук Е.С. Турышева

Красноярск 2021

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Совершенствование системы подачи пластика дорожного принтера» содержит 66 страниц текстового документа, 35 иллюстрации, 1 приложение и 50 использованных источников.

Объект исследования – дорожный принтер

Предмет исследования – непрерывного контроля подачи пластика дорожного принтера.

Целью работы является повышение безопасности дорожного движения за счет нанесения информационной пластиковой разметки на напольных поверхностях.

Для выполнения указанной цели сформулированы следующие задачи исследования:

1. Провести анализ существующих методов нанесения фигурных знаков и разработать гипотезу их нанесения;
2. Разработать техническое предложение для подачи пластика дорожного принтера;
3. Установить в ходе теоретических исследований, лабораторных и производственных экспериментов закономерности влияния характеристик пластика на точность выполнения рисунка.
4. Разработать программное обеспечение по управлению процессом нанесения информационной пластиковой разметки на напольных поверхностях.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Современные технологии нанесения фигурных знаков на поверхность и методы контроля расхода материалов	6
1.1 Технологии и оборудование нанесения фигурных знаков	6
1.2 Термопластики, применяемые для нанесения дорожной разметки	12
1.3 Рабочая гипотеза	16
1.4 Обзор статей	17
Выводы и задачи исследований.....	33
2 Теоретические исследования процесса нанесения пластиковой разметки	35
2.1 Аспекты нанесения пластиковой разметки	35
2.2 Системы векторного управления асинхронным двигателем	43
Выводы.....	49
3 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	50
3.1 Методика экспериментальных исследований	50
3.2 Разработка измерительной системы	52
Выводы.....	56
4 Алгоритмическое, информационное и программное обеспечение сапр шнековых экструдеров	58
4.1 Верификация разработанной сапр	58
Выводы	59
Основные результаты и выводы.....	60
Список использованных источников.....	61

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования.

В настоящее время не подлежит сомнению вопрос о необходимости разметки автомобильных дорог для повышения безопасности дорожного движения. Являясь важной частью технических средств организации движения, дорожная разметка в наше время стала неотъемлемой частью нормального оптического восприятия дороги.

При проектировании автомобильных дорог очень важно обеспечить строгое соответствие разметки и устанавливаемых на дороге знаков, светофоров и других средств организации движения.

Работы по поддержанию надлежащих характеристик дорожной разметки занимают важное место в процессе эксплуатационного содержания автомобильных дорог. Работы по нанесению или обновлению линий разметки являются периодическими и сезонными, так как функциональная долговечность линий разметки, колеблющаяся от нескольких месяцев до нескольких лет в зависимости напряженности работы линий и типа разметочного материала, ниже срока службы дорожного покрытия.

Пик разметочных работ приходится, как правило, на начало теплого сезона года, так как наиболее интенсивное разрушение разметки происходит в зимний период. При этом собственно работы по разметке, как и любые работы на проезжей части, ограничивают пропускную способность дорог и ухудшают безопасность движения.

Исходя из этого, большую актуальность имеет проблема повышения функциональной долговечности дорожной разметки, или, как минимум, предотвращения применения низкокачественных разметочных материалов, имеющих низкие показатели функциональной долговечности.

Традиционно сложилось положение, что материалами для дорожной разметки занимаются в основном специалисты лакокрасочной отрасли, так как краски стали раньше применять для дорожной разметки. Однако

применение традиционных методов испытаний лакокрасочных материалов к термопластикам, холодным пластикам и полимерным лентам, применяемым для дорожной разметки, не эффективно, как из-за физических особенностей этих материалов, так и в силу специфических условий их работы, при этом многие методы просто не применимы.

На российских дорогах становится все больше пластиковых линий разметки. Популярность термопластика постепенно растет, несмотря на то, что стоимость его применения в несколько раз выше, чем у традиционных красок. Ключевые преимущества этой технологии, прежде всего долговечность и износостойкость.

В настоящее время термопластик преимущественно используется для разметки дорог с высокой интенсивностью движения (не менее 10 000 автомобилей в сутки), т. к. он имеет большее время истирания, поскольку наносится слоем от 1,5 до 4 см, и при этом стоит в 3–4 раза дороже, чем краска для дорожных работ. Из всех существующих в России дорог термопластиком размечается примерно половина.

По основным эксплуатационным качествам — текучесть, плотность, время затвердевания, коэффициент яркости и даже истираемость российские пластики не уступают импортным, а вот по водопоглощению, температуре размягчения и адгезии на сдвиг они заметно хуже. Вместе с тем импортные материалы существенно дороже, что и является определяющим фактором при выборе поставщика. Поэтому подавляющее большинство используемых на российских дорогах термопластиков отечественные, импорт составляет доли процента. Термопластик уверенно отвоевывает свою долю рынка у краски (эмали) за счет более высоких технико-экономических характеристик.

Для разметки применяется современное высокотехнологическое оборудование от ручных мобильных разметчиков до специального оборудования, устанавливаемого на шасси грузовых автомобилей. Недостатком существующей технологии является выполнении ручных работ при нанесении рисунка.

Использованы современные методы с помощью системы «MATLAB с приложением Simulink». В результате моделирования динамики процессов нанесения рисунка были получены амплитудно-фазовые характеристики агрегата для напольного рисунка. Это дало возможность анализировать структуры и влияние параметров системы, решать задачи синтеза путем подбора корректирующих элементов, выполнять идентификацию по экспериментально снятым частотным характеристикам.

По амплитудно-фазовым характеристикам сделаны выводы о таких качественных показателях, как запасы устойчивости по амплитуде и по фазе, резонансная частота, частота среза. Все это определило необходимость совершенствования системы нанесения фигурного рисунка путем программного управления агрегатом для напольного рисунка. Поэтому актуальной задачей стало совершенствование дорожного принтера для нанесения пластиковой разметки.

1. Современные технологии нанесения фигурных знаков на поверхность и методы контроля расхода материалов

1.1 Технологии и оборудование нанесения фигурных знаков

Полимерный пластик находит широкое применение при устройстве пешеходных переходов. Экструзионным способом производится и все виды пластика. На рисунке 1.1 приведена схема шнекового экструдера.

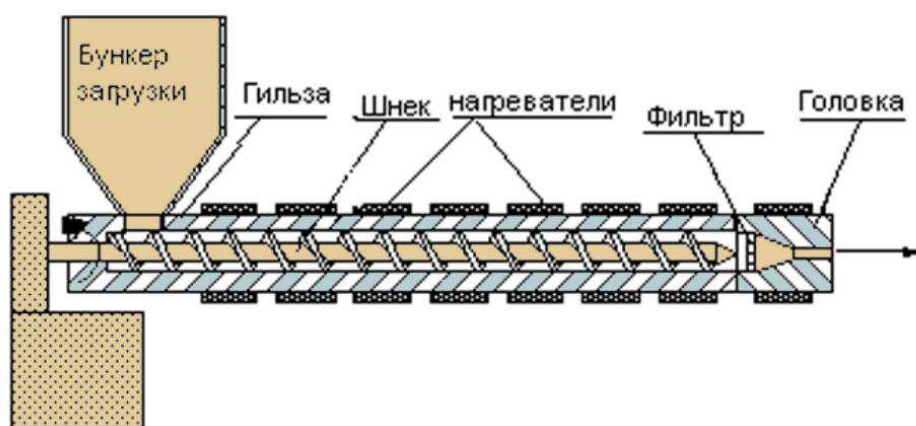


Рисунок 1 – Схема шнекового экструдера

Цилиндр, в котором сырьё, перемешиваясь внутри, прогревается до заданной температуры. Уровень нагрева обычно устанавливается оператором. Он зависит от типа сырья, а точнее от температуры плавления полимера. Обычно это несложные резистивные системы, отличающиеся надёжностью и долговечностью. Так, на нагрев цилиндра используют кольцевые нагреватели.

Фильтрная пластина (экструзионная головка), дающая готовому изделию форму. Она устанавливается на экструдерах, производящих профиль. В случае если производятся различного вида пластмассовые изделия, разогретая полимерная масса через сопло поступает в пресс-форму. Для нагрева сопла устанавливаются отдельные хомутовые нагреватели на сопло

Узел загрузки сырья. Через него гранулированное или измельчённое

полимерное сырьё попадает внутрь цилиндра.

Рабочий орган. Сердцем экструдера является червяк (шнек) - вал с винтовой поверхностью, который, вращаясь, увлекает с собой сырьё, проталкивая его по цилиндру к формирующим насадкам. Это самый распространённый вид экструдера. Реже встречаются устройства, оснащённые поршневым рабочим органом, а также его дисковым аналогом.

Механический блок, состоящий из электродвигателя и системы редукторов, с помощью которых осуществляется вращение шнека в цилиндре.

Блок управления и контроля.

На производстве с этой целью используют выдувной экструдер, который позволяет устанавливать необходимую толщину и ширину продукта. Формирующий узел представлен тонкой щелью. Иногда применяются щелевые фильеры, выдувающие плёнку в форме рукава. Полимерная масса в цилиндре перемешивается и перемещается при помощи винта Архимеда.

Экструдер представляет собой электромеханическое устройство, непосредственное предназначенное для процесса формовки пластмассовых профильных деталей их полуфабрикатов. Корпус с системой нагрева до необходимой температуры плавления полимеров. В качестве источника тепловой энергии могут использоваться привычные резистивные системы или индукционные, создающие высокие температуры за счет наведенных на их корпус высокочастотных индукционных токов Фуко. Узел загрузки, через который различными способами сырьё поступает в полость корпуса. Рабочий орган, создающий необходимое давление для перемещения сырья от узла загрузки до формирующих насадок. Используются различные физические принципы, так это механизм может быть поршневым, дисковым или шнековым. Наибольшее распространение получили именно шнековые экструдеры.

Экструзионная головка (иначе – фильера), задающая форму получаемых изделий. Механический привод (двигатель и редукторная система), создающий и передающий на рабочий орган необходимое усилие.

Системы контроля и управления, поддерживающие необходимый технологический режим.

Загруженное в виде гранул, порошка или лома сырье под действием рабочего органа перемещается в рабочую зону корпуса, где под действием давления, трения и подаваемой извне температуры нагревается и плавится до состояния, требуемого по условиям. В ходе движения в полости корпуса сырье тщательно перемешивается до однородной гомогенизированной массы. Под действием высокого давления расплав продавливается через сетчатые фильтры и формующие головки, где происходят его окончательная гомогенизация и придание заданного профиля. Затем, охлаждаясь естественным или принудительным способом, он полимеризуется, и в итоге получают изделия необходимой конфигурации с заданными физическими и механическими свойствами.

Поскольку общего решения данной системы уравнений на настоящий момент времени не найдено, существующие методики расчета шнековых экструдеров базируются на всевозможных упрощениях, ограничениях реологических свойств материала, использовании эмпирических закономерностей и конструктивных упрощениях. Альтернативой таким подходам может быть использование конечно-элементного метода расчета и разработка программной системы, производящей необходимые инженерные расчеты с минимальным количеством допущений и ограничений модели.

В качестве основного метода инженерных расчетов в САПР предлагается использовать метод конечных элементов, обладающий необходимой универсальностью и инвариантностью по отношению к изменениям конструктивных параметров.

Математическое описание движения перерабатываемого материала внутри цилиндра шнекового экструдера осложняется тем, что материал проявляет различные физические свойства в зависимости от той степени, в которой он уже был подвергнут обработке. В соответствии с этим, выделено

несколько зон рабочего пространства, внутри которых механические свойства материала могут быть описаны в рамках известных зависимостей.

1) Зона жидкотекучести. В непосредственной близости к матрице материал находится в достаточно перемешанном состоянии, близком к сплошной среде в классическом ее понимании. Давление, обусловленное сопротивлением матрицы выпрессовыванию продукта, с одной стороны, и напором поступающего в эту зону под действием вращающегося шнека материала, с другой, передается во всех направлениях без изменений в соответствии с законом Паскаля. Движение материала описывается уравнениями Навье-Стокса и уравнением неразрывности.

2) Зона смешивания и прессования. В этой зоне смешивание еще не завершено, а давление мало по сравнению с предыдущей зоной; материал проявляет свойства псевдопластического тела. Механические свойства материала представляются реологическим уравнением. Для большинства материалов эти свойства описываются либо степенным уравнением Оствальда либо уравнением Бингама. Условием согласования с предыдущей зоной является равенство давления в зоне жидкотекучести нормальному напряжению в зоне смешивания и прессования.

3) Зона уплотнения. В этой зоне происходит интенсивное вытеснение подмешанного при заполнении воздуха и уплотнение перерабатываемого материала. Условием согласования с зоной смешивания и прессования можно выбрать равенство нулю касательных и нормальных напряжений.

Расчетная модель движения перерабатываемого материала аналогична модели для предыдущей зоны, за исключением уравнения неразрывности материала, из-за сжимаемости материала.

4) Зона заполнения. В этой зоне в экструдер поступает исходный материал. Обычно это происходит под действием силы тяжести, но возможно и поддавливание материала предыдущим смешивающим устройством. Присутствует проблема непрерывности подачи. Условием согласования с зоной уплотнения является возникновение нормальных напряжений,

параллельных оси экструдера. В этой зоне для количественного анализа может быть применен статистический подход, с исследованием таких величин, как средний размер воздушных пустот и их количество на единицу объема материала.

Поскольку основные показатели шнекового экструдера обусловлены его устройством и поведением материала в зоне смешивания и прессования, уделим далее основное внимание ей. Для расчета напряженного состояния перерабатываемого материала зона смешивания и прессования разбивается на конечные элементы. Принята следующая последовательность разбиения (рисунок 2):

- 1) плоскостями, перпендикулярными оси шнека, пространство разбивается на диски;
- 2) диски разбиваются на кольца при помощи цилиндрических поверхностей, ось которых совпадает с осью шнека;
- 3) рассекая кольца радиальными плоскостями, получаем секторные доли.

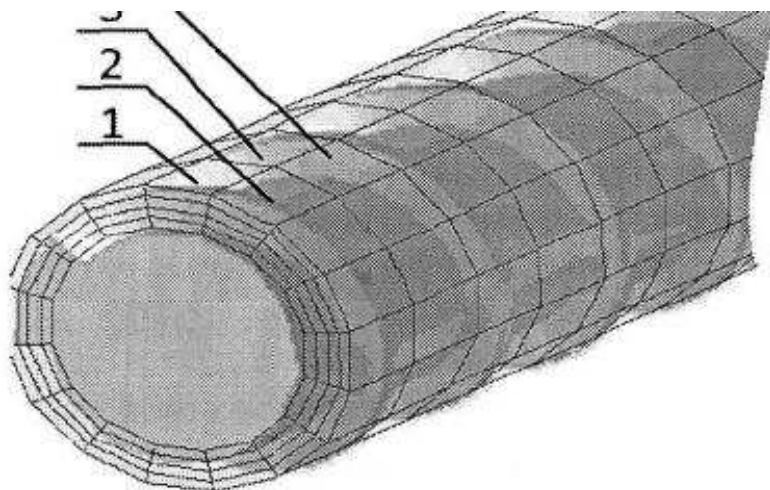


Рисунок 2 - Схема разбиения рабочего пространства на конечные элементы

1 - элемент, соседствующий с лопастью; 2 - элемент, не соседствующий с лопастью; 3 - элемент, завершающий кольцо; 4 - лопасть

Возможные альтернативные методики разбиения, использующие поверхности, связанные с каналом шнека (например, плоскостей, перпендикулярных оси канала), приводят к косоугольным системам координат и к необходимости выполнения сложных преобразований для перехода к системе координат, связанной с неподвижным корпусом, для расчета параметров эффекта шнекового экструдера.

В каждом кольце по признаку соседства с лопастью шнека выделены элементы трех видов:

- 1) соседствующий с лопастью и испытывающий сообщаемое ей напряжение, геометрически аппроксимируемый треугольной призмой;
- 2) не соседствующие с лопастью, геометрически аппроксимируемые прямоугольными параллелепипедами;
- 3) завершающий кольцо и являющийся зеркальным отражением элемента вида 1 относительно лопасти.

Динамическое равновесие элементов видов 1,2 и 3 определяется совокупным действием сил, действующих на них. Ось направлена в окружном направлении, ось y - параллельно оси шнека, ось z - в направлении от вала шнека к корпусу.

1.2 Термопластики, применяемые для нанесения дорожной разметки

Поиски более долговечных материалов привели к широкому использованию термопластиков, срок службы которых в тех же условиях эксплуатации может достигать 7-10 лет. Термопластик - композиционный материал, связующей основой которого являются термопластичные полимерные смолы. В исходном виде термопластик представляет собой порошкообразную смесь компонентов, или литые объемные формы (от брикетов до гранул) из остывшего расплава материала, или плоские готовые элементы разметки (символы и отрезки линий). Нанесение линий разметки из термопластиков производится переводом материала в текучее состояние

путем его разогрева до температуры плавления. В расплавленном состоянии обеспечивается формирование линий разметки и сцепление материала с дорожным покрытием, а после остывания термопластик переходит в твердое состояние. Термопластичные материалы Клиносол (Финляндия) и Нилапласт (ФРГ) впервые использовали у нас в стране в 1969... 1971 гг. на дороге Киев - Борисполь, а также на городских улицах в Москве. В СССР разработки составов термопластиков для дорожной разметки начались в 70-е годы. Первые составы были разработаны В.Д. Ставицким с использованием в качестве вяжущего инденкумаровых смол. В дальнейшем для сохранения стабильности и повышения ударопрочности В.В. Михальским предложено использование в составе термопластиков сульфата, карбоната либо хлорида бария. Светотехнические характеристики материалов улучшены Т.Т. Приходько за счёт использования ультрафиолетовых стабилизаторов и фарфорофаянсового наполнителя. Но термопластик не применяется для разметки цементобетонных покрытий в связи с плохой адгезией к этому материалу. В настоящее время известен ряд составов с использованием смеси инден-кумароновой смолы и полистирола, пластифицированных сложными эфирами фталевой и себациновой кислот. Недостатками термопластиков на основе инденкумароновых смол являются их слабая атмосферостойкость, склонность к желтению через 2-4 месяца эксплуатации разметки, необходимость введения большого объема пигмента (до 20 %), так как инденкумароновые смолы имеют тёмный цвет. Для получения заданных свойств полимерное вяжущее в разметочных композициях подвергается пластификации. Вещества, используемые для пластификации, должны иметь температуру вспышки или деструкции выше рабочей температуры расплава термопластика при сохранении цвета вяжущего. Наиболее часто используются светлые органические масла, тяжелое жидкое топливо, эфиры фталевой, себациновой кислот, хлорпарафины. Физико-механические, эксплуатационные и технологические характеристики разметочных полимерных композиций во многом определяются свойствами минеральных

материалов. К наполнителям и заполнителям, используемым в разметочных композициях, предъявляется ряд общих требований: способность совмещаться с полимерами, хорошо смачиваться полимером, иметь стабильные свойства при хранении, переработке и эксплуатации. Они должны иметь стабильный цвет и коэффициент отражения, минимальную пористость, не растворяться в вяжущем, не содержать вещества, катализирующие разложения полимера.

Из заполнителей наибольшее применение имеет песок, кварцевый и дробленый мрамор. Экономичными составами являются термопластики на основе фарфорофаянсового боя, что обусловлено высоким коэффициентом отражения боя (0,93) и, следовательно, понижением расхода пигмента. Для увеличения ударостойкости и уменьшения усадки в состав термопластиков вводят дисперсную арматуру, стеклянные или полимерные волокна. Процент армирования меняется от 1 до 30% . За рубежом в качестве маркировочных материалов применяют полистирол и смолы. Их наносят на поверхность асфальтобетонного покрытия или (в редких случаях) заполняют ими небольшие углубления, сделанные в покрытии. Смолы образуют с битумом покрытия химические соединения, устойчивые против действия атмосферных факторов. Для повышения эластичности этих соединений применяют добавки хлористого алюминия [47]. В качестве термопластичных материалов известны так называемые горячие пластики, наносимые распылением. Их нагревают до температуры 200- 220°С, при которой они становятся жидкими, и распыляют специальными пистолетами с нагревателями. Преимущество такого аэрозольного пластика заключается в том, что толщина слоя составляет всего 1-2 мм, а время сушки сокращается до 20-30 секунд. Практика показала, что горячий аэрозольный пластик обладает гораздо меньшей долговечностью, чем многокомпонентный термопластик, наносимый в вязком виде. Для термопластиков применяют, пожалуй, самую широкую гамму технологий нанесения. Комплекты технологического оборудования для механизированного нанесения линий

разметки термопластиков можно подразделить на две крупных составных части: во-первых, оборудование для приготовления расплава материала, во-вторых, собственно устройства для нанесения линий разметки. Долговечность разметки из холодных пластиков в среднем в 2 раза превышает долговечность термопластиков при той же толщине.

Холодные пластики в эксплуатационном диапазоне температур очень незначительно изменяют свои свойства, в то время как термопластики являются весьма термочувствительным материалом. По стоимости холодные пластики являются одним из самых дорогих разметочных материалов. Важной составной частью маркировочных материалов являются так называемые «отражающие средства» - стеклянные гранулы. Различимость маркировки достигается благодаря применению этих средств, которые обеспечивают не только хорошую видимость, но и повышают сцепление разметки с колесом автомобиля и покрытием. Стеклянные гранулы добавляются непосредственно в термопластичный материал или наносятся на его поверхность. Стеклянные шарики имеют размер от 100 до 800 мкм, что строго регламентируется в различных странах различными предписаниями и стандартами. Широкому применению термопластичных материалов препятствует их высокая стоимость, превышавшая примерно в 15 раз стоимость разметки обычными красками, а также наблюдавшееся в некоторых случаях преждевременное отслаивание от покрытия. Кроме того, следует отметить хрупкость термопластиков при пониженных температурах, плохое сопротивление воздействию шин с шипами, разрушение снегоочистительными машинами. Поэтому на дорогах с интенсивным зимним содержанием срок службы термопластичных разметочных полос заметно уменьшается. В связи с этим делаются попытки несколько изменить профиль режущей кромки отвалов снегоочистительных машин, а сами отвалы ставить на лыжи [17]. В таблице 1.1 изложены результаты анализа в виде классификации применяемых разметочных материалов и технологий их нанесения.

Таблица 1.1- Технологии нанесения пластики

Тип материала	Исходное состояние (ИС)	Технологическое состояние (ТС)	Эксплуатационное состояние (ЭС)	Технологии	Толщина слоя разметки
Термопластик	Порошок или твердый монолит	текучая масса (расплав)	твердый монолит	скреперная каретка; экструдер; ручная (из готовых элементов); напыление (спрей)	более 1,5 мм
Холодный пластик	текучая масса	то же	твердый монолит	Напыление (спрей); ручная (по контуру или трафарету)	более 1,5 мм
Полимерная лента	твердая пленка	(катализированная) твердая пленка	твердая пленка	горячее втапливание; холодное наклеивание	более 1,0 мм

1.3 Рабочая гипотеза

В качестве рабочей гипотезы принята структурно-функциональная схема САПР (рисунок 1.3),

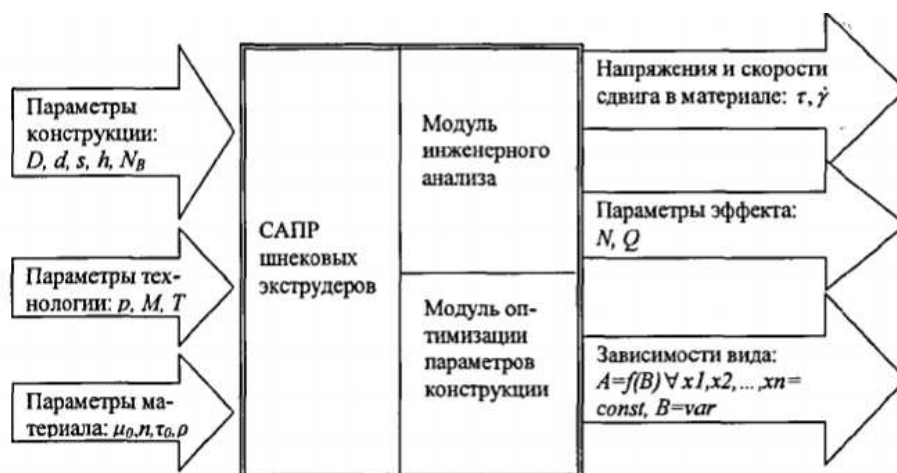


Рисунок 1.3 - Структурно-функциональная схема САПР шнековых экструдеров

Система САПР содержит:

- 1) входные параметры шнековых экструдеров (параметры конструкции, технологии и материала)
- 2) модули САПР шнековых экструдеров, модуль инженерного анализа и модуль оптимизации конструкции.
- 3) выходные параметры (напряжения и скорости сдвига в материале, параметры эффекта, зависимости полученных результатов).

1.4 Обзор статей

1) Математическое обеспечение САПР шнековых экструдеров.

В данной статье описывается и обосновывается необходимость создания системы автоматизации проектирования шнековых экструдеров. Раскрываются сложности проектирования данных конструкций, а также приводятся основания для создания данной САПР системы на основе применения компьютерного моделирования.

Предлагаемая в данной статье система автоматизации проектирования шнековых экструдеров включает в себя такие функции, как:

1. Структурный синтез конструкции. Где, используя заданные примитивы элементов экструдера, пользователь данной системы составляет его структурную схему, включая выбор геометрических параметров. Результаты синтеза будут отображаться на экране и могут быть сохранены в базе данных.
2. Редактирование существующих решений. Элементы экструдера, выбранные в процессе структурного синтеза, имеют настраиваемые параметры. Система позволит пользователю изменять параметры в допустимых, с точки зрения выполнимости, пределах. Результаты также регистрируются в базе данных.
3. Инженерные расчеты. Система выполняет все необходимые расчеты, используя заданную пользователем структуру, параметры конструкции и технологического режима свойств перерабатываемого материала. Результаты расчетов выводятся на экран в виде графиков зависимостей, и могут быть выведены на печать.
4. Анализ влияния параметров. Система позволяет пользователю отобразить графики зависимости выбранных параметров в соответствии с результатами инженерных расчетов.
5. Моделирование технологического процесса. В результате возникновения непредвиденных ситуаций в процессе производства, применение конструкции для новых материалов, показатели эффективности экструдера могут варьироваться. Система в данном случае позволяет пользователю предопределить влияние данного решения.
6. Разработка документации. Исходя из выбранных пользователем стандартов изготовления конструкции, система производит необходимые чертежи и пояснительные записки к ним.

Так как основу проектирования шнековых экструдеров составляет математическое обеспечение инженерных расчетов, то соответственно рассматриваются основные моменты на которые стоит обратить внимание, предоставляются рисунки и уравнения для расчетов.

2) Способ разметки мостовой, термопластичная композиция для разметки мостовой и разметка мостовой

В данной статье описывается применение сухих композитных материалов, наносимых в качестве разметки на мостовые покрытия.

Первый рассмотренный композит основан на применении сополимера этилена с винилацетатом. Описывается преимущество сухого смешивания компонентов композита в сравнении с приготовлением готовой сухой смеси:

1. Смешивание в сухом состоянии более простое и не требует дорогостоящего оборудования.

2. Композиция в сухом виде будет расплавлена непосредственно перед нанесением

3. Во всей операции от приготовления до нанесения на поверхность может быть только одна стадия плавления, в замен двух стадий: плавление для смешивания; плавление для нанесения;

4. Полученная сухим смешиванием композиция для разметки мостовых может быть упакована, транспортирована и продана в виде композиции, отличается простотой в обращении, и готовая к применению смесь может быть применена даже на простом оборудовании, снабженный нагревательным котлом.

Так же говорится о существенном недостатке данного метода, заключающийся в том, что, разметка, полученная данным способом, обладает худшими механическими свойствами, что существенно сокращает срок службы по сравнению с композицией на основе термопластичного каучука.

Второй рассмотренный композит основан на применении углеводородной смолы и термопластического каучука. Весомый недостаток данного композита в том, что для его применения требуется дорогостоящее оборудование с высокой степенью сдвига, в связи с чем невозможно избежать применения двух стадий плавления.

Самой целью данного исследования является создание сочетания, в котором с одной стороны, используется способ с одной стадией плавления, а с другой стороны использование термопластичного каучука в качестве композитного материала.

3) Экструдер филамента для 3D-печати с компьютерным управлением

Данная статья посвящена 3D-печати методом послойного наплавления (FDM) или плавления нити пластика (FFF). Управление всем алгоритмом осуществляется в среде программирования «LabVIEW». Благодаря данной среде программирования, можно отслеживать процессы, происходящие с устройством.

Основным способом изготовления филаментов на основе пластика является метод продавливания расплавленного полимерного материала через формирующее отверстие экструдером. Для экономии средств на покупку готового филамента, возникает необходимость изготовления экструдера для создания филамента с заданными электрофизическими свойствами. Нагревание гильзы осуществляется керамическим нагревателем, коммутация происходит через электростатическое реле. Регулятором температуры производится включение и отключение нагревательного элемента в зависимости от заданных параметров. Вращение шнека осуществляется шаговым двигателем с пятью обмотками фирмы «Carl Zeiss», управление которым, в свою очередь, происходит силовыми ключами на основе биполярного транзистора. Наличие электроуправляемого сцепления в данной установке обусловлено возможностью использовать один шаговый двигатель для приведения в движение двух шнеков. Процесс включения и выключения муфты осуществляется через модуль одноканального реле. Управление всем алгоритмом осуществляется с помощью платы Arduino Nano на базе микроконтроллера ATmega328, в среде программирования «LabVIEW». Вся макетная плата работает от напряжения 24 В постоянного тока.

Микроконтроллер подключался через microUSB к компьютеру. Управление всеми элементами при помощи «LabVIEW» значительно облегчается. Благодаря данной среде программирования, можно отслеживать процессы, происходящие с устройством, а также изменять те или иные параметры, в зависимости от выполнения необходимой задачи, в момент работы экструдера.

4) Информационные технологии моделирования и управления

Данный научно-технический журнал «Информационные технологии моделирования и управления» помещён в том числе, математическому моделированию и оптимизации процессов смешения термопластичных материалов в одношнековых экструдерах.

При экструзии термопластичных материалов в одношнековых агрегатах качество получаемых профильных изделий (листов, плоских и рукавных пленок) в значительной степени определяется наличием термических дефектов и воздушных включений в экструдате и возможными искажениями свободной поверхности изделия. Причинами возникновения брака экструдата являются: температурная и реологическая неоднородность расплава перед формирующей головкой, термическая деструкция, проявляющаяся разрывом цепей макромолекул термопласта с возникновением свободных макрорадикалов, способных образовывать в результате вторичных реакций полимеры более низкой молекулярной массы, периодическое проскальзывание расплава, связанное с ориентацией макромолекул термопласта в пристенных слоях потока. Кроме того, дестабилизирующее влияние оказывают пульсации давления и производительности вследствие образования застойных зон в угловых областях экструзионной головки.

Перечисленные факторы являются следствием неэффективности процессов, протекающих в зоне смешения одношнекового экструдера, и

частой перенастройки производственной системы на новое задание по типу термопластичного материала и производительности. Поэтому актуальной является разработка математической модели процесса смешения термопластичных материалов, настраиваемой на конструктивно-технологические характеристики одношнекового экструдера и тип термопласта и позволяющей рассчитать оптимальные режимные параметры агрегата, обеспечивающие максимальную эффективность процесса смешения.

Задача оптимизации процессов смешения в одношнековых экструдерах заключается в следующем: определить значения частоты вращения шнека и температуры корпуса экструдера, по математической модели для заданных геометрических характеристик и производительности одношнекового экструдера, типа термопластичного материала которые обеспечивают максимальную степень смешения расплава. Регламентные диапазоны режимных параметров, зависят от марки экструдера и типа термопластичного материала.

Математическая модель процесса смешения пластицированных термопластичных материалов в одношнековом экструдере является детерминированной и построена на основе законов сохранения массы, импульса и энергии с учетом реологического уравнения состояния расплава. Построенная математическая модель в данной статье позволяет рассчитать распределения скоростей потоков расплава по глубине канала шнека и распределения давления, температуры и вязкости по длине канала в зависимости от частоты вращения шнека и температуры корпуса для различных геометрических характеристик экструдера и типов термопластов.

Методика расчета и оптимизации процесса смешения основана на Системе дифференциальных уравнений, которая является нелинейной в силу зависимости напряжений вязкого трения от скоростей потоков и температуры расплава. Поэтому для ее решения выбран приближенный

метод, основанный на замене реального двумерного течения двумя одномерными независимыми моделирующими потоками.

Используемые в моделировании Трансцендентные уравнения решаются методом Ньютона– Рафсона, обеспечивающим квадратичную скорость сходимости итераций.

Рассчитанные кинематические характеристики используются для вычисления градиентов скоростей и давления в потоках расплава, напряжений сдвига на стенке корпуса экструдера.

Для расчета распределения температуры расплава по длине канала шнека необходимо проинтегрировать уравнение теплового баланса .

Проверка адекватности математической модели выполнена на примере процесса смешения расплава поливинилхлорида в одношнековом экструдере диаметром 90 мм и длиной 2250 мм в диапазоне частот вращения шнека 20– 140 об/мин и температур корпуса 125–160 °С при максимальной производительности 250 кг/ч. Среднеквадратическое отклонение рассчитанной температуры экструдата от измеренной составляет 7–10 %, по вязкости экструдата – 9–14 %, что свидетельствует об адекватности модели реальному процессу.

Более сильное влияние на процесс оказывает частота вращения шнека, с ростом которой увеличиваются температура и степень смешения экструдата. Таким образом, разработана математическая модель процесса смешения расплавов термопластов в одношнековых экструдерах, которая позволяет рассчитать оптимальные значения частоты вращения шнека и температуры корпуса для различных типов термопластов и марок экструдеров.

5) Влияние геометрических параметров шнека на работу экструдера

Данная статья посвящена исследованию влияниям геометрических параметров шнека на изменение длин функциональных зон, напорно-

расходных, температурных и энергетических характеристик экструзионного оборудования. Установлено, что увеличение зазора приводит к существенному снижению производительности экструдера, изменение угла конусности в первую очередь влияет на интенсивность плавления.

Исследования в статье проведены на примере: полиэтилена. При изменении температура цилиндра экструдера и изменяется температура плавления полиэтилена, при этом на внутренней поверхности отверстия шнека задавались адиабатические условия. Массовая производительность экструдера меняется, чем больше зазор, тем больше длина зоны плавления. Увеличение зазора наиболее сильно влияет на мощность диссипации механической энергии в канале экструдера и мощность подводимой (отводимой) тепловой энергии через стенки канала.

При увеличении зазора происходит снижение средней и максимальной температуры расплава полимера на выходе из канала, кроме того увеличение зазора оказывает значительное влияние на изменение напорно-расходных характеристик пластицирующего экструдера. Увеличение зазора между шнеком и внутренней поверхностью цилиндра приводит к снижению производительности, что в первую очередь обусловлено увеличением потока утечек через зазор. Таким образом, при больших значениях расхода, на которых наиболее целесообразно использовать пластицирующие экструдеры, уменьшение угла конусности приводит к увеличению производительности. С другой стороны, уменьшение угла конусности приводит к увеличению длины зоны плавления и снижению длины зоны дозирования, что может отрицательно сказаться на степени гомогенизации расплава полимера и, соответственно, на снижении качества готовых изделий.

6) Устройство нанесения дорожной разметки

Данное описание полезной модели посвящена нанесению линий дорожной разметки краской и холодным пластиком безвоздушным способом под высоким давлением.

Полезная модель относится к дорожной технике для содержания автомобильных дорог, и может быть использована для нанесения линий дорожной разметки краской и холодным пластиком безвоздушным способом под высоким давлением

Сегодня уже общеизвестно, что полимерная разметка имеет преимущество перед традиционной разметкой краской. Срок эксплуатации традиционной разметки обычно не превышает трех месяцев. Разметка, нанесенная даже красками с высокой износостойкостью, в климатических условиях стран СНГ служит не более года. Срок же службы разметки, нанесенной холодным пластиком - не менее 3-х лет. Перекрывать движение для нанесения новой разметки холодным пластиком необходимо не 2-3 раза в год, а раз в 3-4 года. Технической задачей данного решения является расширение функциональных возможностей устройства, что позволяет выполнять дорожную разметку как краской, так и холодным пластиком. Также увеличивается надежность работы за счет исключения возможности затвердевания материала внутри узлов устройства.

Поставленная задача достигается тем, что устройство для нанесения дорожной разметки содержит закрепленную на кузове транспортного средства раму, на которой установлены двигатель внутреннего сгорания, соединенный с компрессором для подачи сжатого воздуха на распылители разметочного материала, а также с гидравлическим насосом, связанным с гидравлическим мотором, который соединен с насосом для подачи разметочных материалов на распылители. На раме также установлены баки для разметочных материалов и пистолетная тележка, на стойке которой закреплены распылители разметочных материалов. Новым является то, что к гидравлическому мотору подключен сдвоенный насос, который образует с гидравлическим мотором сдвоенную помпу для подачи разметочных материалов от каждого насоса через предохранительный клапан на распылители, при этом каждый насос

подсоединен к отдельному баку для разметочных материалов, соединенному также с предохранительным клапаном. Кроме этого к каждому насосу подключена пара распылителей, которые закреплены на противоположных сторонах стойки пистолетной тележки, а сопла распылителей от каждого насоса с одной стороны стойки установлены под острым углом друг к другу

Устройство работает следующим образом. В баки для разметочных материалов и стеклошариков загружают расходные материалы. Это может быть краска или холодный пластик. Двигатель внутреннего сгорания б приводит в действие гидравлический насос и компрессор. Гидравлический насос создает рабочее давление в гидросистеме, которое передают на гидромотор , приводящий в действие насосы . Насосы закачивают разметочные материалы из баков, под высоким давлением на распылители . Обратный клапан разгружает насосы. Предохранительный клапан сбрасывает избыточное давление и устанавливает пропорциональную подачу разметочных материалов на распылители . Компрессор подает воздух под давлением в ресивер, далее воздух проходит через маслоуловитель, где производится его очистка, и по трубопроводам поступает на пневмоклапана, управляющие работой распылителей и стеклошариков, в бак для стеклошариков. Перед началом работ водитель выезжает на исходную позицию для разметки и переводит визир в рабочее положение. Визир устанавливают таким образом, что его конец находится непосредственно над линией предварительной разметки на заданном расстоянии. Перед началом работ опускают пистолетную тележку в рабочее положение. Распылители от разных насосов устанавливают также как и визир на заданном расстоянии перемещением держателей по кронштейнам и соответственно фиксируют зажимами. Включают сдвоенную помпу и создают рабочее давление в системе подачи разметочных материалов. Манометры позволяют контролировать давление подаваемых разметочных материалов на распылители, а также пропорцию их смешивания. Машина начинает движение на рабочей скорости, а оператор на блоке управления задает тип наносимой линии разметки. Открытие и закрытие распылителей разметочных материалов и

стеклошариков происходит автоматически от блока управления в зависимости от выбранного типа линии.

Таким образом, за счет работы сдвоенной помпы, можно производить нанесение линий дорожной разметки, как краской, так и холодным пластиком.

7) Электропривод экструдера на основе системы векторного управления

В данной статье рассматриваются результаты исследований электропривода экструдера для изготовления резинотехнических полуфабрикатов в производстве автомобильных шин. Предложена структурная схема системы «электропривод-экструдер-продукт», представлены результаты имитационного моделирования.

Анализ технологического процесса производства деталей автошин методом экструзии показывает, что качество профилируемых изделий зависит от геометрии экструдера, скоростного и температурного режима экструзии. Колебания давления резинотехнической смеси на выходе формующей головки, вызванные геометрическими особенностями формы червяка и случайным характером изменения свойств экструдата при переработке, что приводит к флуктуациям скорости и статического момента червяка и является причиной неустойчивого течения экструдата при шприцевании, и как следствие, появления дефектов профилируемых изделий.

Повышение уровня качества изделий достигается путем внедрения регулируемого электропривода червяка машины на основе единой модели технологического процесса.

Улучшить качественные показатели управления процессом экструзии можно, если осуществить непосредственный контроль главной технологической координаты – давления смеси. Для получения требуемых статических и динамических характеристик требуется разработка замкнутой системы регулирования скорости с целью регулирования давления резиновой смеси. Развернутая структурная схема замкнутой системы регулирования

давления, построенная на основе линеаризованной схемы экструдера с подключением датчиков, регистрирующих изменение переменных.

Для реализации способа применяются специальные датчики, встраиваемые в формующую головку экструдера. В работе проведен синтез представленной замкнутой системы управления экструдером на основе асинхронного электропривода с векторным регулированием координат электропривода с применением высокочувствительных датчиков давления. Моделирование системы приведено в программе Matlab 6.5.

8) Математическая модель экструдера как объекта автоматического управления

В статье предлагается математическая модель, построенная на основе гидродинамической модели процесса экструзии резиновых смесей. Модель основана на взаимосвязи энергосиловых, реологических и геометрических параметров червячной машины при переработке полимеров. На базе приведенной математической модели составлена структурная схема экструдера, отражающая взаимосвязь входных и выходных переменных.

Задача построения автоматической системы управления экструдера требует анализа зависимостей энергосиловых, геометрических и реологических параметров процесса экструзии и создания математической модели, отражающей характер этих зависимостей в динамике.

Для первичной оценки управляемости исследуемого объекта, рассматривается ламинарное течение несжимаемой изотропной жидкости в направлении оси рабочего цилиндра экструдера записанное в виде уравнения описывающее винтовое течение неньютоновской жидкости для всех реальных случаев. Получить общее аналитическое решение сложно, оно может быть получено только численным методом. Для составления модели, допускающей аналитическое решение, используются уравнение

производительности, зависящей от передаточной функции экструдера, частоты вращения червяка и выходного давления.

Используя аналогию работы экструдера и насоса как устройств, перекачивающих некоторый объем материала, выводится выражение для мощности, затрачиваемой на этот процесс. Мощность указанных механизмов выводится из выражения кинетической энергии, сообщаемой движущейся жидкости.

Исходя из определения мощности в механике как работы, совершаемой в единицу времени и считая, что вся кинетическая энергия расходуется на перемещение жидкого материала, получают общее выражение для мощности, затрачиваемой на осуществление указанного процесса.

Объем материала, прошедшего через поперечное сечение канала за время определяется скоростью истечения жидкости через поперечное сечение канала.

если учесть, производительность головки, удельное давление или напор материала на выходе головки, получим выражение, определяющее мощность на продавливание жидкого материала сквозь фильеру. Полагая, что основная часть кинетической энергии червяка затрачивается на преодоление реакций каналов головки, можно установить, что статический момент сопротивления вращению червяка может быть определен как отношение полной мощности к скорости вращения червяка.

Таким образом, согласно полученным уравнениям в структурную схему системы «экструдер – нагрузка» вводится внутренняя отрицательная обратная связь, т.е. объект обладает нелинейными связями в цепи обратной связи. Для анализа динамики экструдера предлагается провести линеаризацию уравнений цепи обратной связи воспользовавшись разложением переменных в ряд Тейлора, представив объект в режиме малых отклонений указанных переменных.

9) Методика исследования устойчивости экструдера как нелинейного объекта управления

В данной статье рассматриваются вопросы исследования устойчивости процесса экструзии полимеров. Для определения устойчивого режима работы экструдера как нелинейного объекта управления предлагается использование метода точечных преобразований с построением диаграмм Ламерея, основанных на так называемых «функциях последования», представляющих собой зависимости давления и производительностей червяка и головки экструдера.

Графоаналитический метод точечных преобразований позволяет определить устойчивость или неустойчивость нелинейной системы без построения фазовых траекторий. Очевидно, изменение положения точки M_0 не зависит от u .

При наличии двух взаимосвязанных характеристик движения системы, зависящих от начальных условий, анализ сводится к отысканию так называемых функций последования точки M_0 в последующие M^* , графическое изображение которых образует так называемую диаграмму Ламерея. Диаграмма строится в виде двух кривых, отражающих указанные функции. Изобразив диаграмму в виде двух кривых, можно получить решение так называемых прямой и обратной задач.

Прямую задачу можно применить при анализе системы. Суть построений сводится к отысканию значений $x_1=x_2$ в точке установившегося режима.

Обратная задача способна решить вопросы синтеза системы. Для этого предлагается отложить по вертикальной оси значения в установившемся режиме и построить график для первой функции последования. Тогда, появляется возможность представить расположение второй функции последования, которая должна проходить под соответствующим углом.

Применительно к экструдеру данный метод позволяет оценить устойчивость, по изменению давления на выходе экструдера и, соответственно, производительности на выходе экструдера.

Используя аналогию между работой экструдера и процессом заполнения резервуара со сливом и подачей жидкости, можно построить динамическую модель экструзии, в которой изменение условий входа приводит к изменению соотношения между длиной зоны загрузки и длиной зоны дозирования.

Производительности участков экструдера зависят соответственно от величин давлений, развиваемых на конце червяка и выходе формующей головки

Таким образом, наблюдается наличие двух взаимосвязанных характеристик движения системы, зависящих от начальных условий. Анализ устойчивости в такой системе может быть проведен указанным методом точечных преобразований.

Наряду с пропорциональной зависимостью приводного момента и давлений на выходе рабочего цилиндра и формующей головки, при анализе устойчивости процесса важно также учитывать влияние скорости вращения червяка. В этом случае функции последования становятся функциями двух переменных. Задавая начальным значением момента, развиваемого червяком, а затем, проецируя рабочую точку с одной характеристики на другую, можно получить ряд значений производительностей в переходном процессе. Подставим численные значения параметров и, считая, что привод экструдера развивает момент, равный статическому моменту, получим диаграмму Ламерея, отражающую ход кривых. Аналогичная диаграмма может быть построена и для кривых давления. В этом случае, в качестве функции последования следует принять выражение определяющее связь крутящего момента и давления на выходе червяка $P_{\text{ч}}(M)$. Очевидно, в этом случае объёмная диаграмма Ламерея принимает вид двух взаимопересекающихся поверхностей. Кривая, полученная в результате

пересечения поверхностей, будет представлять множество точек с координатами (ω ш; Мш), соответствующих установившемуся режиму. Таким образом, задаваясь указанным диапазоном изменения варьируемых параметров в виде матричных массивов, можно получить трехмерную диаграмму Ламерея

Так образом установлено, что устойчивость объекта управления зависит от взаимного угла наклона образующих диаграмму кривых. Приведенные диаграммы позволяют сделать вывод, что устойчивый процесс экструзии наблюдается при схождении процессов изменения давления в головке при определенных значениях Мш и ω ш.

10) Использование полимеров при нанесении дорожной разметки

В начале данной статьи автор посвящает нас в историю развития полимеров в качестве применения для дорожной разметки, оглашая приблизительный сроки службы наносимой дорожной разметки краской и пластиком, сравнивает, поверхностно, экономическую рентабельность данного метода, что и дает повод для существования полимеров в дорожной отрасли.

Основываясь на безопасности дорожного движения, приводится в пример структурное нанесение разметки, что позволяет образовывать структурную поверхность разметки, которая повышает сцепление шин с дорогой за счет создаваемого рельефа. Данный вид разметки особенно актуален перед пешеходными переходами, на перекрестках и других местах где необходимо повышенное внимание участника дорожного движения, в частности владельцев автомобилей, поскольку данная разметка создает не только визуальный эффект за счет увеличенной толщины разметочных полос, но и шумовой.

Автор не оставляет без внимания факторы которые утомляют водителя в длительном движении, в частности расслабленное и дремотные

состояния. Для этой цели в статье упомянуты краевые полосы из полимеров, поскольку съезжая с дороги на шумовую полосу водителя должен привлечь шум, что предотвратит дорожно-транспортное происшествие.

Важным фактором является водоотвод с дорожного полотна, и рельефная разметка не смотря на свою увеличенную высоту не мешает оттоку воды.

Автор статьи рассматривает не только плюсы, но и минусы разных видов нанесения пластиковой разметки, а в частности холодным методом и горячим.

Учитывая все выше сказанное, логично было бы предположить, что данная технология просто не имеет разумной альтернативы, а более широкое распространение ее, зависит сугубо от финансирования. Дело в том что данный вид разметки рентабельно наносить на новых дорогах с качественным дорожным покрытием.

Выводы и задачи исследований.

Процесс экструзии с каждым годом становится все более популяризированным, эта технология вполне имеет место и в дорожной отрасли, а в частности нанесение разметочных полос.

Хоть нанесение пластиковой разметки и дорожке, нежели разметка привычным нам способом – краской, но также применение данной технологии имеет и ряд преимуществ. Такие как шумовые эффекты для привлечения внимания водителя или визуальные эффекты за счет возможности нанести более высокий слой, что, несомненно, скажется на зрительном восприятии водителей.

Целью работы является повышение безопасности дорожного движения за счет нанесения информационной пластиковой разметки на напольных поверхностях.

Для выполнения указанной цели сформулированы следующие задачи исследования:

1. Провести анализ существующих методов нанесения фигурных знаков и разработать гипотезу их нанесения;
2. Разработать техническое предложение для подачи пластика дорожного принтера;
3. Установить в ходе теоретических исследований, лабораторных и производственных экспериментов закономерности влияния характеристик пластика на точность выполнения рисунка.
4. Разработать программное обеспечение по управлению процессом нанесения информационной пластиковой разметки на напольных поверхностях.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА НАНЕСЕНИЯ ПЛАСТИКОВОЙ РАЗМЕТКИ

2.1 Аспекты нанесения пластиковой разметки

Задача построения автоматической системы управления экструдера требует анализа зависимостей энергосиловых, геометрических и реологических параметров процесса экструзии и создания математической модели, отражающей характер этих зависимостей в динамике. В работах приводится подробное описание физико-химических процессов экструзии, однако не дается обобщенного представления экструдера как объекта управления.

Для первичной оценки управляемости исследуемого объекта, рассмотрим ламинарное течение несжимаемой изотропной жидкости в направлении оси рабочего цилиндра экструдера, записанное в общем виде

$$\frac{\delta p}{\delta z} = \mu \left(\frac{\delta^2 v_z}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 v_z}{\delta y^2} \right) + \frac{\delta v_z}{\delta x} * \frac{\delta \mu}{\delta x} + \frac{\delta v_z}{\delta y} * \frac{\delta \mu}{\delta y} \quad (2.1)$$

Где p – давление расплава, Па; μ – эффективная вязкость расплава Па*с; v_z – скорость движения расплава вдоль канала червяка, м/с; x, y – текущие координаты частиц расплава, м.

Уравнение (1) описывает винтовое течение неньютоновской жидкости для всех реальных случаев. Получить общее решение данного уравнения сложно, а следственно его можно получить только численным методом. Для составления модели допускающей аналитическое решение, принимаются следующие допущения:

- вязкость расплава очень мало изменится вдоль оси x в поперечном сечении канала, температура экструдата в канале и величина градиента скорости почти не меняются, поэтому принимаем $\frac{\partial \eta}{\partial x} = 0$, η – коэффициент

вязкости;

- поскольку вязкость расплава по высоте канала также практически не меняется, допустимо принять $\frac{\partial \eta}{\partial y} = 0$;

- влияние стенок винтового канала на распределение скорости пренебрежимо мало, поэтому $\frac{\delta v_z}{\delta x} = 0$;

- движение в направлении оси y существует только в непосредственной близости к стенкам канала, в остальной части сечения канала течение в направлении оси y отсутствует;

- размеры канала по всей длине практически постоянны, поэтому, значения скоростей v_x, v_z не зависят от координаты z ;

- вследствие большого отношения винтового канала к его глубине, а также особенностей циркуляционного течения можно принять, что скорости v_x, v_z не зависят от координаты x , следовательно,

$$\frac{\delta v_x}{\delta x} = 0, \frac{\delta v_y}{\delta y} = 0, \frac{\delta v_z}{\delta z} = 0, \frac{\delta v_z}{\delta x} = 0. \quad (2.2)$$

Из уравнений равновесия напряжения, получаем:

$$\rho_{xy} = \eta \frac{\delta v_x}{\delta y}; \rho_{yz} = \eta \frac{\delta v_z}{\delta y}; \rho_{yz} = 0. \quad (2.3)$$

С учетом принятых допущений уравнение (1) примет вид:

$$\frac{\delta^2 v_z}{\delta y^2} = \frac{1}{\mu} * \frac{\delta p}{\delta z} \quad (2.4)$$

После преобразования уравнения (4) может быть получено объемное уравнение производительности экструдера. С учетом потока утечки данное уравнение запишется в виде:

$$Q = \frac{\pi^2 D^2 k_n h_{cp} \sin \varphi \cos \varphi}{2} \left(1 - \frac{ie}{t}\right) F_a - \frac{\pi^2 k_o D h_{cp}^3 \varphi \sin^2 \varphi}{12 \eta_{эф} L} \frac{\delta p}{\delta t} \left(1 - \frac{ie}{t}\right) F_p - \frac{\pi^2 D^2 \delta^3 t g \varphi \Delta P}{10 \eta_{эф} e L} \quad (2.5)$$

В винтовом канале червяка с постоянными размерами и постоянной вязкостью $\eta_{\text{эф}}$, Па с, градиент давления по длине канала является постоянным. Тогда можно принять:

$$\frac{dp}{dl} = \frac{\Delta P}{L}. \quad (2.6)$$

Работа червячного экструдера зависит не только от конструкции червяка, но и от формующего инструмента (головки). Конструкция и проходные сечения каналов, конструктивное оформление формующего инструмента зависят от реологических свойств расплава полимеров и специфических гидродинамических явлений. Для получения формулы производительности формующего инструмента примем допущения, согласно которым:

- в местах стыков каналов с различной геометрией имеются, как правило, монотонные переходы, поэтому влиянием входных эффектов можно пренебречь;
- каналы головки можно разбить на ряд зон, характеризующихся постоянным или монотонно изменяющимся поперечным сечением, для которых находятся коэффициент гидравлического сопротивления;
- расчет формующего инструмента будем рассматривать при показателе течения, равном единице, т.е. для ньютоновской жидкости.

Объемная производительность потока ньютоновских жидкостей через формующий инструмент Q , кг/с определяется по формуле:

$$Q = K_g \frac{\Delta P}{\eta_{\text{эф}}}, \quad (2.7)$$

где K_g — общая константа головки, зависящая от конфигурации и размеров отдельных элементов головки, м³.

Используя выражения (2) и (6), приведем уравнение (5) к более удобному виду:

$$K_g \frac{\Delta P}{\eta_{эф}} + \beta \frac{dp}{dl} + \gamma \frac{\Delta P}{\eta_{эф}} = \frac{30\alpha\omega_{ш}}{\pi} \quad (2.8)$$

где $\omega_{ш}$ - угловая скорость вращения червяка, рад/с.

В этом уравнении имеется производная по направлению dp/dl . Для эквивалентного преобразования используем выражение:

$$dl = \omega_{ш} R_{ц} tg\varphi dt \quad (2.9)$$

где $R_{ц}$ - радиус цилиндра, м.

Заменив производную градиента давления dp/dl на производную, отражающую временную зависимость изменения давления от времени dp/dt , получим выражение:

$$\omega_{ш} \left(K_g \frac{\Delta P}{\eta_{эф}} + \gamma \frac{\Delta P}{\eta_{эф}} \right) + \beta \frac{L}{\mu R_{ц} tg\varphi} = \frac{30\alpha\omega_{ш}^2}{\pi} \quad (2.10)$$

где ΔP — приращение давления по длине всего канала головки, Па.

Уравнение (10) является нелинейным. Линеаризация уравнения экструдера позволит получить передаточную функцию объекта. Для этого выразим переменные через приращения $\Delta\omega$, ΔP относительно координат рабочей точки экструдера ($\omega_{шр}$, P_0):

$$\omega_{ш} = \omega_{шр} + \Delta\omega_p, P = P_0 + \Delta P. \quad (2.11)$$

Подставив эти выражения в исходное соотношение (8), упростим запись координат рабочей точки. В результате получается линейное выражение для приращений. После преобразований уравнение для статического режима приобретает вид:

$$K_g \frac{P}{\eta_{эф}} + \gamma \frac{P}{\eta_{эф}} = \frac{30\alpha\omega_{шр}}{\pi} \quad (2.12)$$

В динамическом режиме уравнение, связывающее приращения координат, можно записать так:

$$\Delta\omega_{\text{ш}} \left(K_g \frac{\Delta P}{\eta_{\text{эф}}} + \gamma \frac{\Delta P}{\eta_{\text{эф}}} \right) + \beta \frac{L}{\mu R_{\text{ц}} t g \varphi} = \frac{30\alpha \cdot 2\Delta\omega_{\text{ш}} \omega_{\text{шр}}}{\pi} \quad (2.13)$$

На основании уравнений производительности, можно записать передаточную функцию экструдера между частотой вращения червяка и выходным давлением. После соответствующих преобразований получим:

$$W_{\text{э}} = \frac{\Delta P}{\Delta\omega_{\text{ш}}} = \frac{60\omega_{\text{шр}}\alpha/\pi - P(K_g + \gamma)/\eta}{\frac{\beta\alpha}{\eta R_{\text{ц}} t g \varphi} p + \frac{\omega_{\text{шр}}}{\eta}(K + \gamma)} \quad (2.14)$$

где p - оператор Лапласа.

Запишем данную передаточную функцию в упрощенном виде:

$$W_{\text{э}} = \frac{\Delta P}{\Delta\omega_{\text{ш}}} = \frac{K_{\text{э}}}{T_{\text{э}} p + 1}, \quad (2.15)$$

где $K_{\text{э}} = \frac{60\alpha\eta_{\text{эф}}}{\pi(K + \gamma)} - \frac{P}{\omega_{\text{шр}}}$, $T_{\text{э}} = \frac{\beta L}{R_{\text{ц}} t g \varphi \cdot \omega_{\text{шр}}(K + \gamma)}$ соответственно коэффициент передачи и постоянная времени экструдера по скорости как аperiodического звена первого порядка.

Можно видеть, что переходной процесс изменения давления на входе формующей головки носит явно выраженный аperiodический характер. Инерционность экструдера зависит как от конструктивных параметров экструдера и формующего инструмента, так и от физико-химических свойств перерабатываемого полимера. Это факт находится в согласии с принятыми выше допущениями и упрощениями гидродинамической модели.

Для оценки крутящего момента на валу червяка, рассмотрим

выражение мощности привода червяка:

$$W_{\Pi} = \frac{\pi^2}{2} D^2 N h_{\text{ср}} \Delta P \operatorname{tg} \varphi + \pi^3 D^2 N^2 \eta_{\text{эф}} L_2 \frac{D}{h_{\text{ср}} \cos \varphi} \quad (2.16)$$

Поделив обе части этого уравнения на величину $\omega_{\text{ш}}$, получим линейное уравнение, разрешенное относительно давления P

$$P = \frac{M - k_2 \omega}{k_1} \quad (2.17)$$

где $M_{\text{ш}} = W_{\Pi} / \omega_{\text{ш}}$ - момент на валу червяка (шнека); $k_1 = \frac{\pi^2}{2} D^2 h_{\text{ср}} \operatorname{tg} \varphi$, $k_2 =$

$\pi^3 D^2 N^2 \eta_{\text{эф}} L_2 \frac{D}{h_{\text{ср}} \cos \varphi}$ - константы экструдера. Уравнения (16), (17), а

также уравнение вращательного движения червяка

$$M_{\text{ш}} - M_{\text{с}} = J_{\text{ш}} p \omega_{\text{ш}}, \quad (2.18)$$

где $J_{\text{ш}}$ - момент инерции червяка; позволяют представить экструдер в виде объекта управления, структурная схема которого приведена на рисунке 2.1.

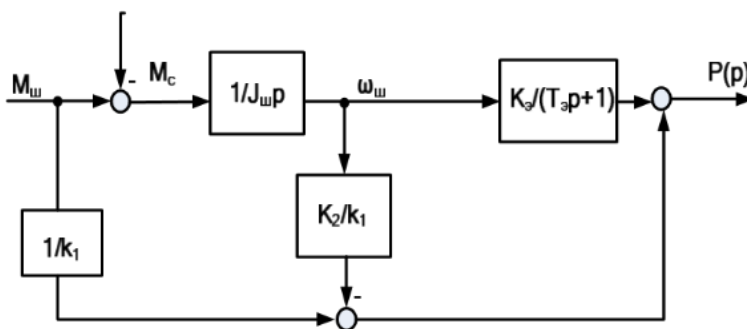


Рисунок 2.1 - Структурная схема экструдера

Используя аналогию работы экструдера и насоса как устройств, перекачивающих некоторый объем материала, можно вывести выражение

для мощности, затрачиваемой на этот процесс. Мощность указанных механизмов выводится из выражения кинетической энергии, сообщаемой движущейся жидкости:

$$E = \frac{mv^2}{2} \quad (2.19)$$

где m – масса жидкого материала, проходящая через нагнетательную часть насоса или головку экструдера, кг.; v – скорость движения материала, м/с.

Массу материала можно определить как

$$m = \rho V, \quad (2.20)$$

где ρ – плотность (кг/м³),

V – объем материала (м³), проходящего через поперечное сечение канала течения S (м²).

Исходя из определения мощности в механике как работы, совершаемой в единицу времени ($W=A/t$) и считая, что вся кинетическая энергия расходуется на перемещение жидкого материала ($A=E$), с учетом (2.18) и (2.19) получим общее выражение для мощности, затрачиваемой на осуществление указанного процесса:

$$W = \frac{A}{t} = \frac{mv^2}{2t} = \frac{\rho V v^2}{2t} \quad (2.21)$$

Объем материала V , прошедшего через поперечное сечение канала за время t определяется скоростью истечения жидкости через поперечное сечение канала S , поэтому справедливо соотношение:

$$\frac{V}{t} = \frac{S}{v} \quad (2.22)$$

Откуда:

$$W = \frac{\rho \cdot S \cdot v^3}{2} \quad (2.23)$$

Таким образом, если учесть, что $S \cdot v = Q_{\Gamma}$ - производительность головки ($\text{м}^3/\text{с}$), $\frac{\rho \cdot v^2}{2} = P_{\Gamma}$ - удельное давление или напор материала на выходе головки ($\text{Н}/\text{м}^2$), получим выражение, определяющее мощность на продавливание жидкого материала сквозь фильеру:

$$W = Q_{\Gamma} \cdot P_{\Gamma} \quad (2.24)$$

Примем, что в установившемся режиме давление в головке равно давлению, развиваемому червяком. Тогда связь производительности с давлением в головке может быть определена по формуле

$$Q_{\Gamma} = B_{\Gamma} P_{\Gamma} / \eta_{\text{эф}} \quad (2.25)$$

Полагая, что основная часть кинетической энергии червяка затрачивается на преодоление реакций каналов головки, можно установить, что статический момент сопротивления вращению червяка может быть определен как отношение полной мощности $W_{\text{п}}$ к скорости вращения червяка $\omega_{\text{ш}}$:

$$M_c = \frac{W}{\omega_{\text{ш}}} = \frac{P_{\Gamma} Q_{\Gamma}}{\omega_{\text{ш}}} \quad (2.26)$$

Таким образом, согласно уравнениям (2.18- 2.24) в структурную схему системы «экструдер – нагрузка» вводится внутренняя отрицательная обратная связь. Структурная схема привода экструдера принимает

следующий вид (рисунок 2.2).

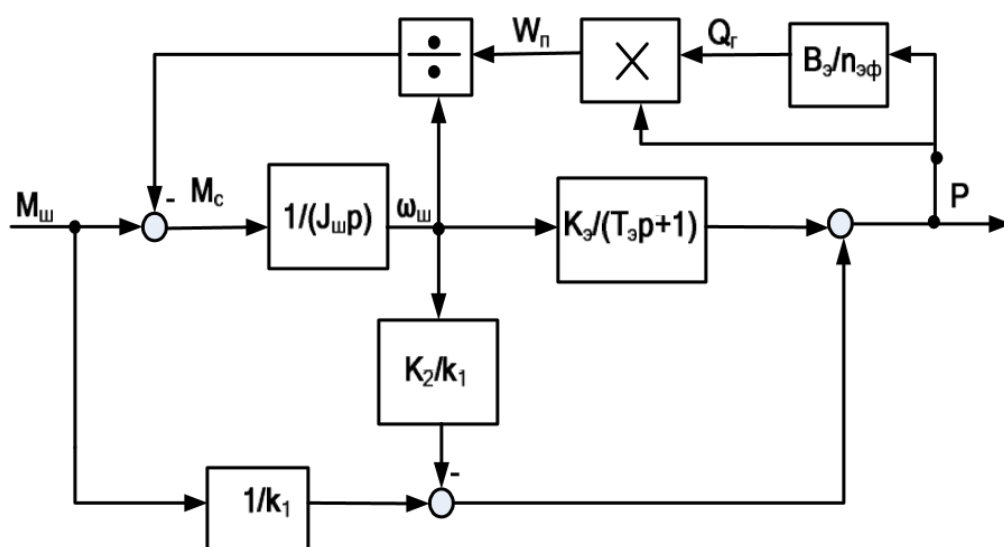


Рисунок 2.2- Структурная схема привода экструдера с учетом цепи обратной связи

Из структурной схемы видно, что объект обладает нелинейными связями в цепи обратной связи. Для анализа динамики экструдера как объекта управления при малых отклонениях переменных P , $\omega_{ш}$, M_c следует провести линеаризацию уравнений цепи обратной связи. Для этого, можно воспользоваться разложением переменных в ряд Тейлора, представив объект в режиме малых отклонений указанных переменных

2.2 Системы векторного управления асинхронным двигателем

Приводов экструдера служит асинхронный электродвигатель. Сравнительный анализ существующих систем электроприводов экструдеров, применяемых в придорожной разметки указывает на необходимость разработки электроприводов на основе единой модели технологического процесса. Результаты решения задачи параметрической оптимизации процесса экструзии, подтверждают необходимость эффективного

регулирования скорости вращения и момента на валу червяка экструдера при экструзии вязкоупругих смесей на основе синтетического каучука, при этом обеспечивается максимальное качество экструдата при номинальной производительности и потребляемой мощности агрегата. Анализ механических характеристик универсальных экструдеров указывает на существование участков, где регулирование происходит при постоянном моменте $M_c \approx \text{const}$ (1-я зона) и мощности $P_c = \text{const}$ (2-я зона). Причем в зависимости от технологических режимов переработки удовлетворить обоим требованиям можно лишь в условиях отдельного управления скоростью и моментом электродвигателя. Как показали исследования червячных машин, технологические требования по выходному давлению смеси могут быть удовлетворены применением электропривода червяка с независимым регулированием указанных координат со следующими показателями качества: – колебания статического момента при переходном процессе не должны превышать 25 % от установившегося номинального значения момента двигателя; – точность поддержания момента приводного двигателя не должна превышать 2%; – точность стабилизации частоты вращения червяка в статическом и динамическом режиме работы должна составлять 0,1%. Кроме того, согласно проведенным исследованиям, для минимизации потерь и повышения качества продукции при шприцевании вязкоупругих смесей к экструдеру должны предъявляться следующие требования :

- а) время регулирования давления на выходе экструдера должно быть не более $T_r = 12$ с;
- б) допустимые колебания давления при переходном процессе должны составлять не более 20% от установившегося значения;
- в) требуемая точность стабилизации давления в установившемся режиме работы не более 2 %.

Работа электроустановок в агрессивных условиях и требования к надежности привода со стороны технологического процесса обуславливают применение электроприводов на основе асинхронных двигателей с

короткозамкнутым ротором (АДКЗР). Для эффективного управления координатами асинхронного электропривода в статических и динамических режимах работы в широком диапазоне регулирования скоростей, желательно применить векторное управление моментом АД. Для того, чтобы добиться цели управления в условиях неопределенного изменения параметров, требуется каким-либо способом получать информацию о выходных характеристиках объекта. Улучшить качественные показатели управления процессом экструзии можно, если осуществить непосредственный контроль главной технологической координаты – давления смеси. В общем случае в разомкнутой системе регулирования давления с целью уменьшения ошибок управления объектом с нестабильными собственными параметрами приходится осуществлять перенастройку корректирующей цепи (регулятора). Кроме того, в процессе эксплуатации электропривода могут наблюдаться изменения возмущающих и управляющих воздействий в виде скачков питающего напряжения, механических возмущений в кинематической цепи привода и т.д., что в общем случае может привести к расходящемуся процессу. Замкнутые системы регулирования технологических параметров, содержащие в своем составе систему электропривода с подчиненным регулированием координат, имеют широкое практическое применение в качестве приводных систем большинства технологических агрегатов и зарекомендовали себя как надежные системы в условиях действующего производства автомобильных шин. Таким образом, для получения требуемых статических и динамических характеристик требуется разработка замкнутой системы регулирования скорости с целью регулирования давления резиновой смеси.

Линеаризованная структурная схема замкнутой системы «электропривод-экструдерпродукт» приведена на рисунке 2.3.

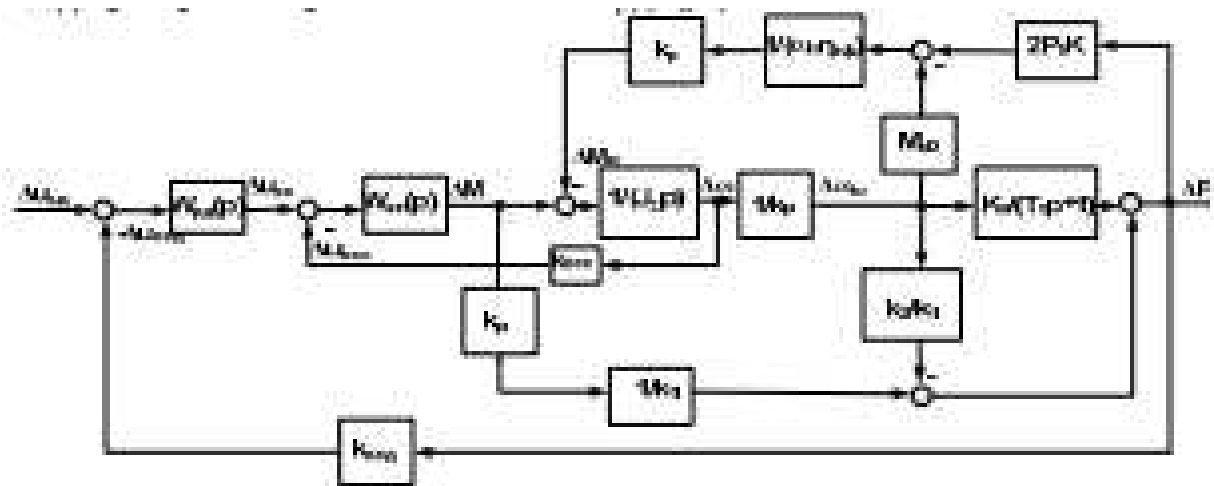


Рисунок 2.3 - Линеаризованная структурная схема замкнутой системы «электропривод-экструдерпродукт»

Система управления включает в себя объект управления (экструдер) $W_{э}(p)$, регулятор давления $W_{рД}(p)$, замкнутую по скорости систему электропривода $W_{эп}(p)$, механическую передачу (редуктор) k_p и датчик обратной связи $k_{осд}$. Выходной переменной экструдера является давление, от которой зависит производительность и качество экструдата.

Один из возможных способов решения рассматриваемой проблемы – это обратная связь от датчиков, регистрирующих изменение переменных. Наиболее широкое применение в практике нашел способ подчиненного подключения датчиков к регуляторам. Данный способ достаточно просто реализуем на практике в сравнении с применением адаптивных систем управления экструдерами, в которых требуется реализация сложного алгоритма управления в условиях неопределенности параметров объекта управления и внешних возмущений. Для реализации способа применяются специальные датчики, встраиваемые в формующую головку экструдера (рисунок 2.4).

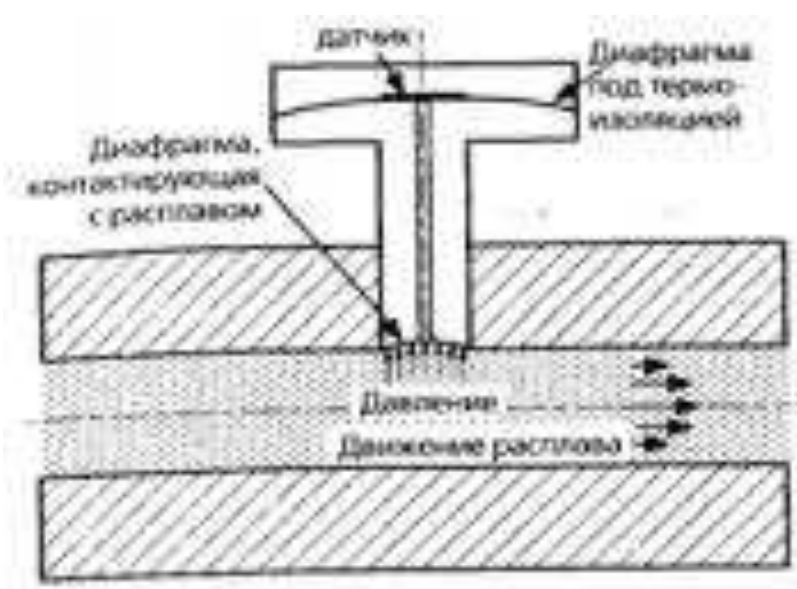


Рисунок 2.4 - Формующий канал головки со встроенным датчиком давления

Появление современных пьезоэлектрических полупроводниковых материалов, встроенных в небольшой чип, которые изменяют свое сопротивление при приложении нагрузки, привело к созданию высокочувствительных датчиков давления. Данное достоинство указанных датчиков, позволяет получать электрический сигнал даже при незначительных механических воздействиях на чувствительный элемент. Это определило широкое распространение данного типа датчиков по сравнению с другими типами.

Синтез представленной замкнутой системы управления экструдером на основе асинхронного электропривода с векторным регулированием координат электропривода проведен с применением указанного датчика давления.

Моделирование системы управления экструдером на основе асинхронного электропривода с векторным регулированием координат электропривода приведено в программе Mathlab*Simulink (рисунок 2.5), а результаты моделирования представлены на диаграммах рисунке 2.6.

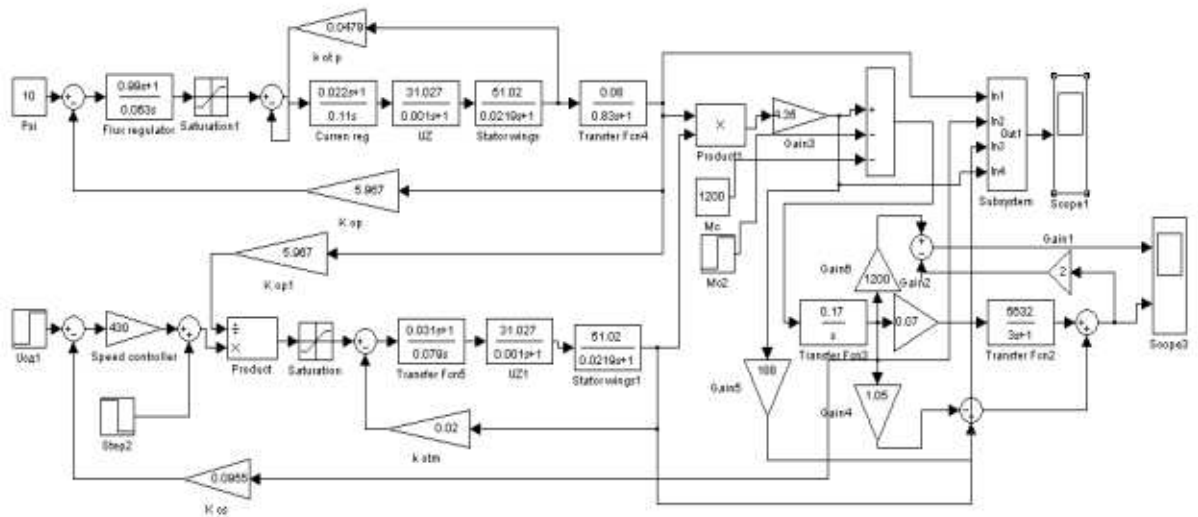


Рисунок 2.5 - Модель системы «Электропривод-экструдер-продукт» на основе векторного управления электроприводом

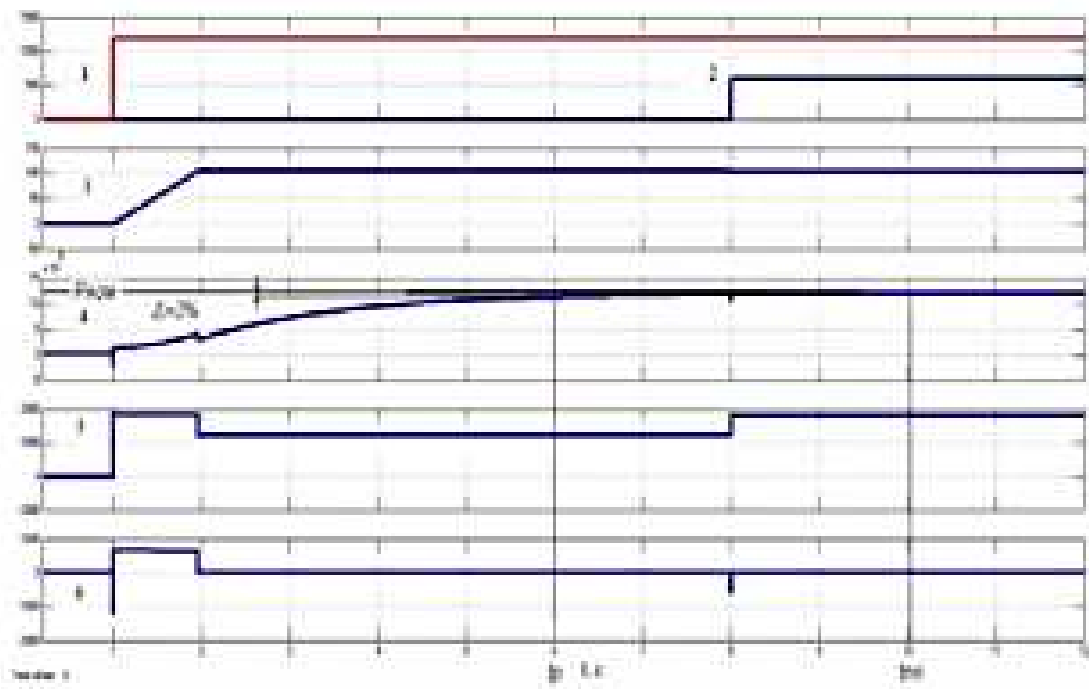


Рисунок 2.6 - Переходные процессы в системе электропривод-экструдер при пуске под нагрузкой:

1 – номинальный статический момент, Нм, 2 –дополнительный статический момент, имитирующий отклонение момента нагрузки, Нм (0,5 Мс.ном), 3 - частота вращения червяка,рад/с, 4 - выходное давление смеси, Па, 5- момент привода, Нм; 6 – динамический момент, Нм.

Выводы:

Из диаграммы переходных процессов видно, что время регулирования давления составляет 6 с, время переходного процесса 10 с, колебания давления отсутствуют, а статическая ошибка регулирования не превышает 2%. Таким образом, векторная система электропривода обеспечивает требуемые показатели качества регулирования скорости и момента приводного двигателя экструдера, а также постоянство оптимальных значений варьируемых параметров процесса экструзии в статическом режиме, при которых обеспечивается максимальный уровень качества профилируемых изделий.

4. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью экспериментальных исследований является определение действительных значений параметров оборудования для экструзии пластика, оценки статистических характеристик температурных воздействий оборудования и подтверждения математических моделей рабочих процессов агрегата. Основные задачи заключались в определении динамических характеристик шнекового экструдера, силового взаимодействия шаговых двигателей с рабочим оборудованием агрегата. Эти параметры определялись при варьировании величин внешней нагрузки и конструктивных решений узлов агрегата.

3.1 Методика эксперимента

Исследование рабочих процессов агрегата проводилось путем:

- проведения лабораторных испытаний автоматизированной системы управления;
- экспериментальных исследований процесса экструзии.

Лабораторные испытания проводились на агрегате, приведенном на рисунке 3.1.

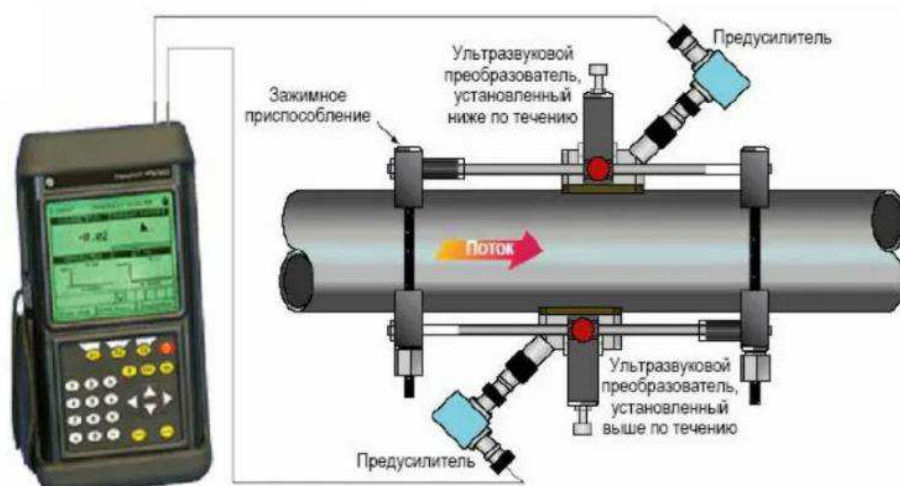


Рисунок 3.1 – Шнековый экструдер

1 Основные сведения о погрешностях измерения

Практически ни одна из физических величин за исключением дискретных не может быть измерена абсолютно точно, и имеет место погрешность измерения:

$$\Delta x' = x - x_{и}, \quad (3.1)$$

где x - результат измерения (показания прибора),

$x_{и}$ - истинное значение измеряемой величины.

Точное значение последней остается неизвестным. Поэтому для определения погрешности пользуются другой формулой:

$$\Delta x = x - x_{д}, \quad (3.2)$$

где $x_{д}$ - действительное значение измеряемой величины по показаниям прибора наиболее высокой точности (образцового прибора).

В большинстве случаев погрешности носят случайный характер. Причинами их возникновения являются неидеальность конструктивного исполнения приборов, а иногда и условность метода, положенного в основу измерения.

В измерительной технике используется также понятие приведенной погрешности, %:

Различают понятия основной и дополнительной погрешностей.

Основная погрешность определяется при нормальных условиях измерения,

При отклонении условий измерения от нормальных, а также при действии электромагнитных полей, вибрации и других внешних факторов появляется дополнительная погрешность.

Фирмами-изготовителями средств измерения гарантируется некоторая предельная погрешность. Если погрешности распределены по известному нормальному закону, то согласно правилу утроенной средне-квадратичной

погрешности ряда измерений (правило” трех сигм”) доверительная вероятность предельной погрешности

3.2 Разработка измерительной системы

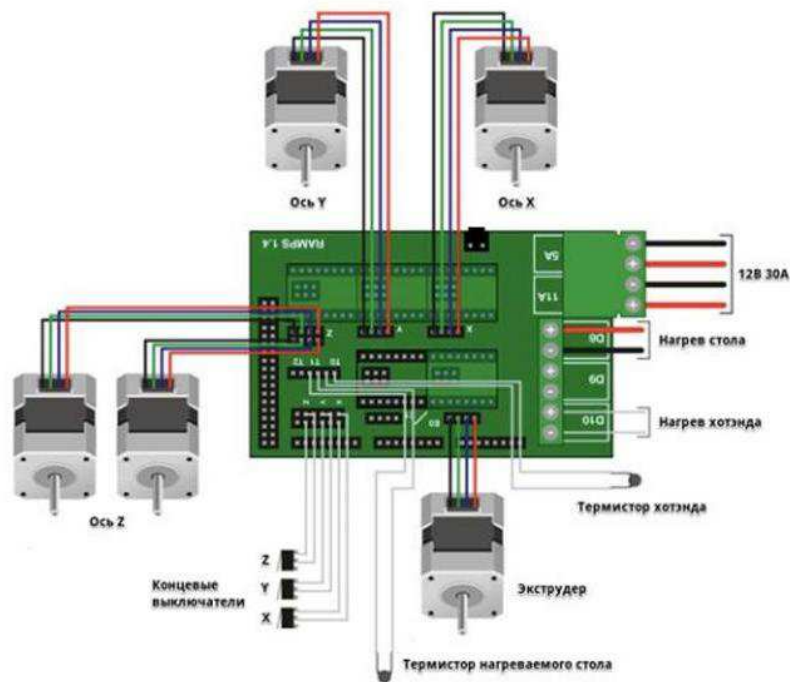


Рисунок 3.2 – Схема измерений

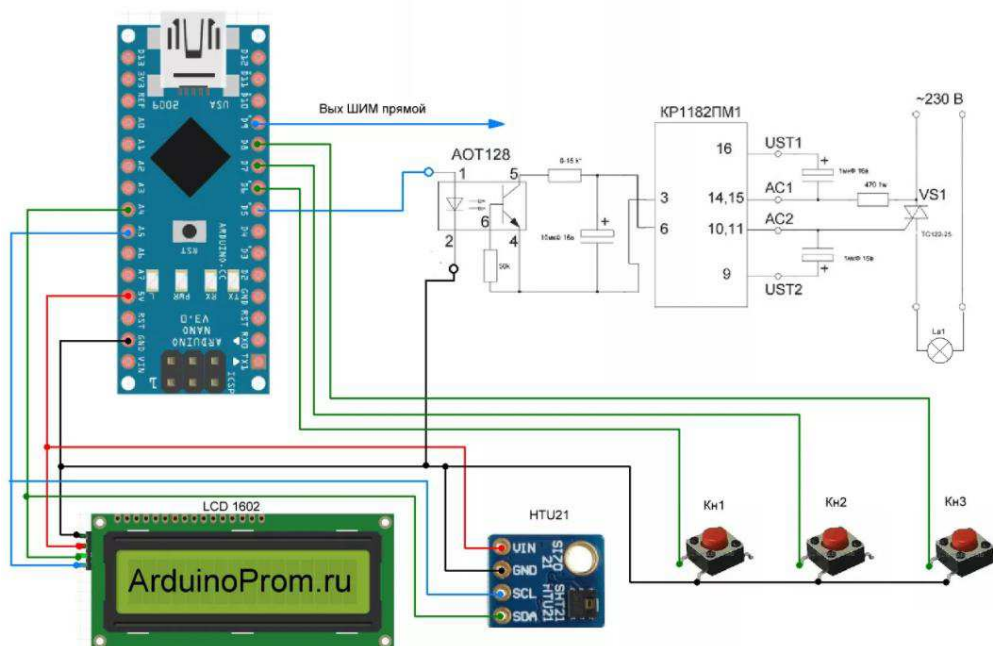


Рисунок 3.3 – ПИД регулятор



Рисунок 3.4 - Установка программного обеспечения

Подключение:

1. Ставим перемычки под каждый драйвер шагового двигателя на плате RAMPS. Потребуется по 3 джампера под каждый драйвер.
2. Устанавливаем драйвера шаговых двигателей на разъемы X, Y, Z, E1. Наклеиваем на них радиаторы.
3. Монтируем плату RAMPS поверх Arduino.

надежную и долговечную систему, стоит немного усовершенствовать плату Arduino. А именно – отвязать ее от питания, которое приходит с RAMPS. Для этого откусите диод на плате RAMPS и припаяйте регулятор напряжения ко входу питания. Его нужно заблаговременно выставить на 5 В, попутно выпаяв стандартное гнездо питания. Сам регулятор можно поместить на

заднюю стенку Arduino.

Особое внимание коммутации проводов для двигателей по оси Z. Их можно подключать:

- параллельно, но каждый штекер идет в свое гнездо (стандартная схема коммутации RAMPS);
- последовательно, используя один штекер (схема ниже).

Установка программного обеспечения

Программное обеспечение включает в себя два важных момента – установку прошивки на сам принтер, а также инсталляцию слайсера на ПК. Рассмотрим оба пункта последовательно:

1. Скачиваем прошивку с официальных источников Arduino. Например, можно взять драйверы [здесь](#). Устанавливаем прошивку через интерфейс утилиты IDE Arduino 1.0.6. На дисплее принтера выбираем Auto Home, чтобы проверить калибровку концевиков и полярность шаговиков. Если оси работают в обратную сторону, нужно повернуть клемму у мотора на 180 градусов.
2. Ставим слайсер на ПК. Это программа для обработки и подготовки к печати трехмерной модели. Здесь же можно задать некоторые параметры печати для самого принтера, немного подкрутить характеристики. Это основные шаги по установке ПО. Точечные настройки будет выставлять сам пользователь по мере обучения.

Подготовка к эксплуатации: настройка и калибровка

На финишной прямой стоит еще раз все проверить, а также сделать первичную калибровку и настройку:

1. Проверьте ход всех кареток. Смажьте валы силиконовым маслом.
2. Посмотрите проводку, чтобы ничего не коротило и не замыкало.
3. Откалибруйте печатную платформу при помощи чистого листа формата A4. Отпустите регулировочные винты, подложите лист бумаги между соплом

экструдера и самой поверхностью. Выставьте правильную геометрию стола и высоту сопла, затяните винты.

4. Попробуйте выгнать тестовый кубик, чтобы вылезли все неточности и дефекты печати.
5. Скачайте или создайте модель, которую нужно напечатать. Выгрузите ее в слайсер. Установите нужные параметры и скиньте проект на SD-карту.
6. Загрузите филамент в экструдер. Катушка с пластиком должна свободно прокручиваться над конструкцией принтера.
7. Вставьте флешку в принтер, попробуйте выгнать печать.

Выводы

Измерительная система экструдера подачи пластика содержит аппаратную часть, содержащую приборы среда Arduino и программную часть с управлением от двух ПИД регуляторов по измерению температуры и программного кода на частоту вращения шнека

4. АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ, ИНФОРМАЦИОННОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САПР ШНЕКОВЫХ ЭКСТРУДЕРОВ

На рисунке 4.1 приведен алгоритм инженерного анализа проектного решения шнекового экструдера

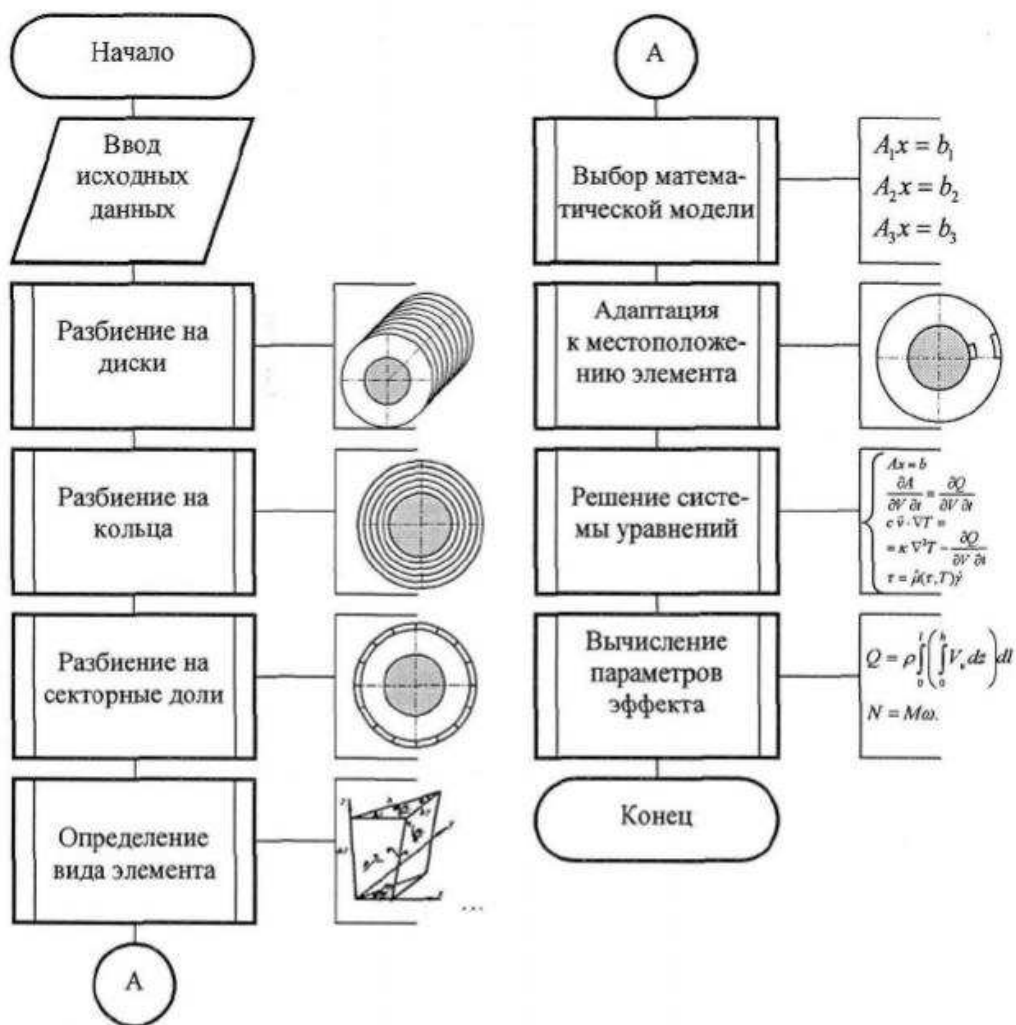


Рисунок 4.1 - Алгоритм инженерного анализа проектного решения шнекового экструдера

4.1 Верификация разработанной САПР

Для верификации программного обеспечения разработанной САПР выполнены вычислительные эксперименты, повторяющие условия натуральных экспериментов с использованием трех шнеков различной геометрии и трех видов материалов с различными реологическими свойствами. Построены графики зависимостей потребляемой мощности и производительности шнекового экструдера от угловой скорости вращения шнека (рисунок 4.2).

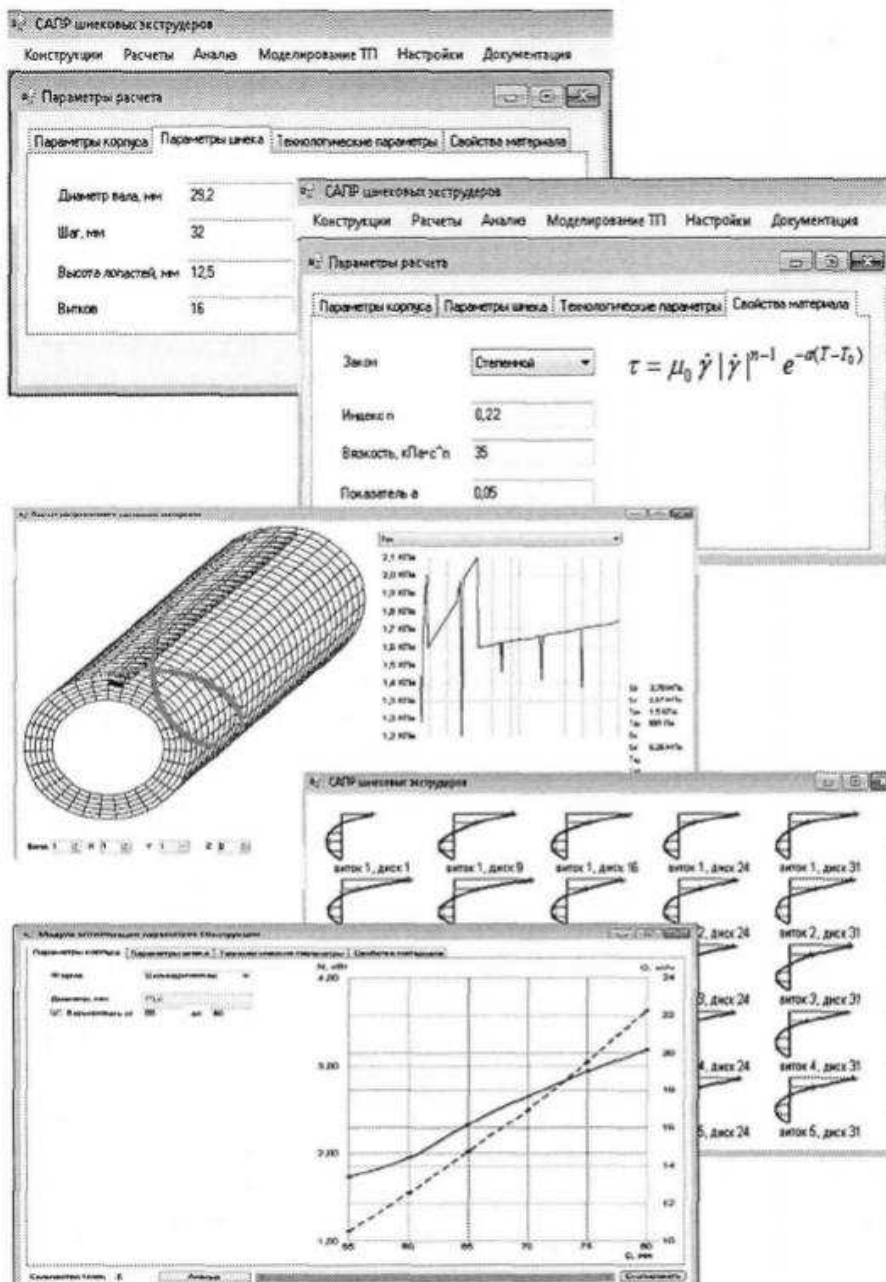
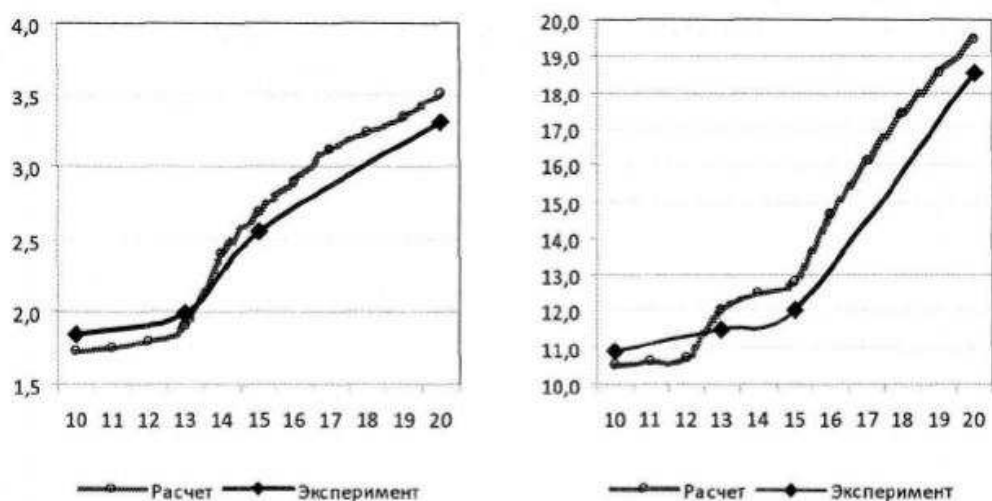


Рисунок 4.2 - Экранные формы разработанной САПР шнековых экструдеров

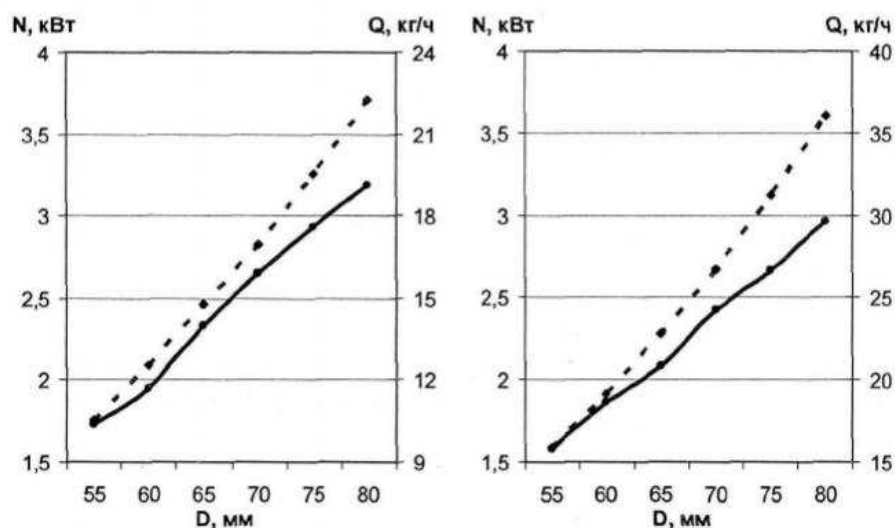
Проведенное исследование позволило определить, что относительная ошибка в тестовых условиях не превышает 6,3%. С помощью разработанной САПР получены зависимости параметров эффекта (потребляемой мощности и производительности) от конструктивных (диаметр корпуса, диаметр вала, шаг винтовой линии и высота лопасти шнека), технологических (рабочее давление, температура) параметров и свойств перерабатываемого материала (рисунок 4.3). Вычисления производились для двух видов перерабатываемых материалов, описываемых различными реологическими законами: законом Оствальда - де Вилля и законом Бингама-Шведова.



а - потребляемая мощность б – производительность

Рисунок 4.3 - Зависимости потребляемой мощности и производительности шнекового экструдера от угловой скорости вращения шнека

На рисунке 4.4 показаны полученные графики зависимостей потребляемой мощности (сплошная линия) и производительности (пунктир) от диаметра корпуса шнекового экструдера для перерабатываемых материалов, описываемых различными реологическими законами.



а - закон Оствальда - де Виля б - закон Бингама-Шведова

Рисунок 4.4 - Зависимости потребляемой мощности N и производительности Q шнекового экструдера от диаметра корпуса O

Выводы

Реализация САПР показала, что полученные зависимости параметров эффекта (потребляемой мощности и производительности) от конструктивных (диаметр корпуса, диаметр вала, шаг винтовой линии и высота лопасти шнека), технологических (рабочее давление, температура) параметров и свойств перерабатываемого материала

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования разработан новый метод формализованного описания процессов экструдирования с учетом динамически изменяющихся свойств перерабатываемого материала, технологии экструдирования, конструктивных параметров и параметров эффекта шнекового экструдера, а именно:

1. Предложена математическая модель поведения материала в рабочем пространстве шнекового экструдера, описывающая физические свойства перерабатываемого материала с учетом изменения его состояния.
2. Разработан метод формализованного описания процесса экструдирования, основанный на использовании конечно-элементного анализа, позволивший связать в едином алгоритме свойства перерабатываемого материала, технологии экструдирования, конструктивные параметры и параметры эффекта шнекового экструдера;
3. Полученные результаты в виде математических моделей, алгоритмов, БД конструкций и примитивов, программных модулей позволили разработать систему инженерного анализа и синтеза проектных решений шнековых экструдеров. Верификация программного обеспечения разработанной системы, выполненная методом сравнения результатов вычислительных и натуральных экспериментов, показала адекватность результатов вычислений реальным процессам с погрешностью не более 6,3%.
4. Вычислительные эксперименты с использованием разработанной системы позволили вскрыть закономерности влияния конструктивных и технологических параметров, а также свойств перерабатываемого материала на параметры эффекта шнекового экструдера. Тем самым показана возможность эффективного применения разработанного метода для анализа и синтеза проекта

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Завгородний, В.К. Механизация и автоматизация переработки пластических масс/ В.К. Завгородний. – 3-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1970. – 596 с.: ил.
2. Оборудование для переработки пластмасс: справочное пособие по расчету и конструированию/ под ред. В.К. Завгороднего. – М.: Машиностроение, 1976. – 406 с.
3. Оборудование и основы проектирования заводов резиновой промышленности : Учеб. пособие для вузов / Бекин Н.Г. [и др.] ; под общ. ред. Н.Д. Захарова. – Л. : Химия, 1985. – 504 с
4. Автоматизированный электропривод промышленных установок: учебное пособие для вузов / Г.Б. Онищенко [и др.]; под ред. Г.Б. Онищенко. – М.: РАСХН – 2001. – 520 с.: ил.
5. Басов, Н.И. Расчет и конструирование формующего инструмента для изготовления изделий из полимерных материалов : учеб. для вузов / Н.И. Басов, В.А. Брагинский, Ю.В. Казанков. – М. : Химия, 1991. – 352
6. Ким, В.С. Теория и практика экструзии полимеров : учеб. и учеб. пособия для вузов / В.С. Ким. – М. : Химия, Колос, 2005.—568 с.
7. Орлов, С. П. Повышение эффективности электрооборудования и системы управления экструзионной линии: дис. канд. техн. наук/ С. П. Орлов. – Краснодар, 2005. – 193 с.
8. Вострокнутов, Е.Г. Переработка каучуков и резиновых смесей. Реологические основы, технология, оборудование/ Е.Г. Вострокнутов, М.И. Новиков, В.И. Новиков. – М.: Химия, 1980. – 280 с., ил.
9. Вострокнутов, Е.Г. Реологические основы переработки эластомеров / Е.Г. Вострокнутов, Г.В. Виноградов. – М. : Химия, 1988.—232с.
10. Бернхардт Э. Переработка термопластических материалов: пер. с англ. Р.В. Торнера и др. под ред. Г.В. Виноградова/ Э. Бернхардт. – М.: Госхимиздат, 1962 г. – 748 с., ил.

11. Торнер, Р.В. Теоретические основы переработки полимеров (механика процессов) / Р.В. Торнер. – М. : Химия, 1977.—464с.
12. Ганиев Р. Н. Электропривод экструдера на основе системы векторного управления асинхронным двигателем. – Вестник Казанского технол. ун-та. - №12, Т16, с. 263-265.
13. Тумаева Е. В. Подобие оптимальных зависимостей токов в синхронном двигателе с электромагнитным возбуждением на базе теории обобщенной машины. – Вестник Казанского технол. ун-та. - №2., Т16, С. 158- 159.
14. Ганиев, Р. Н. Оптимизация процесса экструзии в шинопроизводстве применением частотнорегулируемого электропривода: дис. канд. техн. наук/ Р. Н. Ганиев. – Ульяновск, 2012. – 200 с.
15. Методы классической и современной теории автоматического управления: учебник: в 3 т.Т.3 / под. ред. Н.Д. Егупова. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 758 с.
16. Проведение предремонтных инструментальных испытаний и регламентный контроль электроприводов поточной линии по производству протекторов ИРУ16Б: отчет о НИР/ Нижнекамский химико-технол. ин-т. – Нижнекамск, 2009. – 142 с.
17. Орлов, С. П. Повышение эффективности электрооборудования и системы управления экструзионной линии: дис. канд. техн. наук/ С. П. Орлов. – Краснодар, 2005. – 193 с.
18. Раувендааль, К. Экструзия полимеров: пер. с англ.А. Я. Малкина/ К. Раувендааль. – СПб.: Профессия, 2008 – 762 с.: ил.
19. Справочник по автоматизированному электроприводу. Под ред. Елисеева В.А. и Шинянского А.В. – М.: Энергоатомиздат. 1983. - 616 с.
20. Чаки Ф. Современная теория управления: нелинейные, оптимальные и адаптивные системы: перев. с англ. В.В. Капитоненко, С.А. Анисимова/ А. Чаки. – М.: издат. Мир, 1975 г. – 424 с., ил.
21. Тумаева Е.В. Подобие оптимальных зависимостей токов в синхронном двигателе с электромагнитным возбуждением на базе теории обобщенной

- машины. – Вестник Казанского технол. ун-та. - №2, Т.16, с. 158- 159.
22. Амирова С.С. Абдурагимов Р.А., Исаев А.А. Совершенствование управления энергосбережением цеха 2104 завода «Этилен». - Вестник Казанского технол. ун-та. - №2, Т.16, с. 180-181.
23. Ridiko L.I., "Raz shazhok, dva shazhok..."// Magazine "Osnovy skhemotekhniki" – №6-9/2001.
- 24 Tikhonov A.O., Shcherbakov V.L., Universalny servoprivod SPSh10 [Electronic document] (<http://www.servotechnica.ru/catalog/type/article/index.pl?id=39>). Checked 12.02.2014.
- 25 A.A. Degtyaryov, Sh. Tayl, Elementy teorii adaptivnogo rasshirennogo filtra Kalmana : Preprint IPM im. M.V.Keldysha RAN. – М., 2003. – №26. – 35 p.
- 26 Kohtz D. Messen, Steuern und Regeln mit PIC-Mikrocontrollern / D. Kohtz. – 4. Auflage. – Franzis Verlag GmbH, 2003. – 191 s.
- 27 Jost R. Experimente mit Programmierbarer Logik / R. Jost. – Franzis Verlag GmbH, 2006. – 312 s.
28. Bendjedja, M.; Ait-Amirat, Y.; Walther, B.; Berthon, A., "Sensorless control of hybrid stepper motor," Power Electronics and Applications, 2007 European Conference on , vol., no., pp.1,10, 2-5 Sept. 2007 doi: 10.1109/EPE.2007.4417444.
- 29Einicke G. A. Smoothing, Filtering and Prediction-Estimating the past, present and future // New York: InTech. – 2012. – 276 pp.
- 30 Ferdinando, H.; Khoswanto, H.; Purwanto, D., "Embedded Kalman Filter for Inertial Measurement Unit (IMU) on the ATmega8535," Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA), 2012 International Symposium on , vol., no., pp.1,5, 2-4 July 2012.
- 31 Ferdinando, H.; Khoswanto, H.; Purwanto, D., "Embedded Kalman Filter for Inertial Measurement Unit (IMU) on the ATmega8535," Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA), 2012 International Symposium on , vol., no., pp.1,5, 2-4 July 2012.

32 Фатыхов Ю.А. Подход к построению системы автоматического управления рабочими органами разделочно-филетировочного оборудования (Часть II. Реализация прямого цифрового управления шаговым приводом) / Ю.А. Фатыхов, О.В. Агеев, А.В. Шлемин, О.П. Пономарев // Научный журнал КубГАУ [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2007. – №34(10).

33 Ридико Л.И., "Раз шажок, два шажок..."// Журнал "Основы схемотехники" – №6-9/2001 10. Тихонов А.О., Щербаков В.Л., Универсальный сервопривод СПШ

[Электронный документ]
(<http://www.servotechnica.ru/catalog/type/article/index.pl?id=39>). Проверено 12.02.2014.

34. А.А. Дегтярёв, Ш. Тайль, Элементы теории адаптивного расширенного фильтра Калмана / Препринт ИПМ им. М.В. Келдыша РАН. – М., 2003. – №26. – 35 с. A.V. Borisevich1,D.V. Glebko2.

35Tikhonov A.O., Tsivinskiy M.M. Evolyutsiya privodov na baze shagovykh dvigateley [Electronic document]
(<http://www.servotechnica.ru/catalog/type/article/index.pl?id=42>). Checked 11.02.2014.

36Bendjedja, M.; Ait-Amirat, Y.; Walther, B.; Berthon, A., "Sensorless control of hybrid stepper motor," Power Electronics and Applications, 2007 European Conference on , vol., no., pp.1,10, 2-5 Sept. 2007 doi: 10.1109/EPE.2007.4417444.

37 Bendjedja, M.; Ait-Amirat, Y.; Walther, B.; Berthon, A., "Position Control of a Sensorless Stepper Motor," Power Electronics, IEEE Transactions on , vol.27, no.2, pp.578,587, Feb. 2012 doi: 10.1109/TPEL.2011.2161774.

38 Konakov A.S. Algoritm adaptivnogo dvukhshagovogo rasshirennogo filtra Kalmana v zadache sovmestnoy otsenki navigatsionnogo vektora i smeshcheniya nuley datchika MEMS v slabosvyazannoy kompleksirovannoy navigatsionnoy sisteme : A.S. Konakov, V.V. Shavrin, D.O. Nozdrevatykh, A.A. Savin, V.I.

Tislenko : Doklady Tomskogo gosudarstvennogo universiteta sistem upravleniya i radioelektroniki – № 4 (30), 2013, – p. 23-30.

38 Einicke G. A. Smoothing, Filtering and Prediction-Estimating the past, present and future // New York: InTech. – 2012. – 276 pp.

40 Ferdinando, H.; Khoswanto, H.; Purwanto, D., "Embedded Kalman Filter for Inertial Measurement Unit (IMU) on the ATmega8535," Innovations in Intelligent Systems and Applications (INISTA), 2012 International Symposium on , vol., no., pp.1,5, 2-4 July 2012.

41 Fatykhov Yu.A. Podkhod k postroyeniyu sistemy avtomaticheskogo upravleniya rabochimi organami razdelochno-filetirovochnogo oborudovaniya (Chast II. Realizatsiya pryamogo tsifrovogo upravleniya shagovym privodom) : Yu.A. Fatykhov, O.V. Ageyev, A.V. Shlemin, O.P. Ponomarev : Nauchny zhurnal KubGAU [Electronic resource]. – Krasnodar: KubGAU, 2007. – №34(10).

42 Ridiko L.I., "Raz shazhok, dva shazhok..."// Magazine "Osnovy skhemotekhniki" – №6-9/2001.

43 Tikhonov A.O., Shcherbakov V.L., Universalny servoprivod SPSh10 [Electronic document] (<http://www.servotechnica.ru/catalog/type/article/index.pl?id=39>). Checked 12.02.2014.

44 A.A. Degtyaryov, Sh. Tayl, Elementy teorii adaptivnogo rasshirenogo filtra Kalmana : Preprint IPM im. M.V.Keldysha RAN. – M., 2003. – №26. – 35 p.

44 Корниенко В. В, Омеляненко В. И. Высокоскоростной электрический транспорт. Мировой опыт. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. – 159 с.

45 Щербаков В. Г., Колпахчян Г. И., Хоменко Б. И. Применение реактивных индукторных двигателей на перспективном ЭПС // Электровозостроение: сб. научн. тр. ОАО «Всерос. н.-и. и проектно-конструктр. ин-т электровозостроения» (ОАО «ВЭЛНИИ»). Т.40. Новочеркасск, 2001. – С. 45-57.

46 Омеляненко В. И., Любарский Б. Г., Рябов Е. С., Демидов А. В., Глебова Т. В. Анализ и сравнение перспективных тяговых электродвигателей //

Залізничний транспорт України. 2008. № 2/1. – С. 26–31.

47 Емельянов И. Я., Воскобойников В. В., Масленок Б. А. Основы конструирования исполнительных механизмов управления ядерных реакторов. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 232 с.

48 Приводы СУЗ реакторов ВВЭР для атомных электростанций / В. П. Никитюк, А. Г. Казахмедов, А. С. Ваулин и др. – М.: ИКЦ Академкнига, 2004. – 325 с.

49 Джафари Хенджани Сейед Моджтаба Математическая модель автоматизированного электропривода на базе линейного шагового двигателя / Джафари Хенджани Сейед Моджтаба, Б. Г. Любарский, Е. С. Рябов, В. П. Северин, В. Ф. Чернай, Д. И. Якунин // «Електроінформ» - 2009. Тем. вип. «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика» С. 88–91

51. Дьяконов В. MATLAB 6: учебный курс. – СПб.: Питер, 2001. – 592 с. 8.
<http://femm.berlios.de>.

50 Khoshnevis B. Automated construction by contour crafting – Related robotics and information technologies, *Automation in Construction*, vol.13, 2004, 5-19.

51 Khoshnevis B., Yuan X., Zahiri B., Jing Z., Xia B. Construction by contour crafting using sulfur concrete with planetary applications, *Rapid Prototyping Journal*, vol.22, 2016, 5-6.

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерно-строительный институт

Кафедра строительных материалов и технологии строительства

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

И.Г. Енджиевская

 подпись


« 25 » 06 2021г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

«Совершенствование системы подачи краски дорожного принтера»

Направление 08.04.01 Строительство

Магистерская программа 08.04.01.07 Комплексная механизация и
автоматизация строительства

Научный руководитель  проф., д-р. техн. наук Р.Т. Емельянов

Выпускник  ст. гр. СФ19-07М А.Д. Михалев

Рецензент  проф., д-р. техн. наук В.И. Иванчура

Нормоконтролер  доц., канд. техн. наук Е.С. Турышева