

Министерство образования Российской Федерации
Владимирский государственный университет

З.А. КУДРЯВЦЕВА

Е.В. ЕРМОЛАЕВА

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВ
ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ПЛАСТМАСС
МЕТОДОМ ЭКСТРУЗИИ**

*Учебное пособие к выполнению
курсового и дипломного проектов*

Владимир 2003

УДК 678.5.(07)

К88

Рецензенты:

Кандидат технических наук председатель совета директоров ОАО ВХЗ

С.С. Маринкович

Профессор заведующий кафедрой химии

Владимирского государственного педагогического университета

В.П. Ларионов

Печатается по решению редакционно-издательского совета

Владимирского государственного университета

Кудрявцева З.А., Ермолаева Е.В.

К88 Проектирование производств по переработке пластмасс методом экструзии: Учеб. пособие к выполнению курсового и дипломного проектов / Владим. гос. ун-т. Владимир, 2003. 96 с.

ISBN 5-89368-448-6

Цель пособия – научить студентов выполнять в курсовых и дипломных проектах технологические расчеты (материальный баланс, производительность и др.), проектный расчет экструдера, правильно собирать материалы на практике и пользоваться справочной литературой для выполнения расчетов.

Предназначено для студентов специальности 250600 – технология переработки пластмасс и эластомеров дневной, вечерней и заочной форм обучения и для инженерно-технических работников, занимающихся переработкой пластмасс.

З.А. Кудрявцевой написаны разделы 2 – 5, Е.В. Ермолаевой – 1; 6.

Табл. 39. Ил. 10. Библиогр.: 15 назв.

УДК 678.5.(07)

ISBN 5-89368-448-6

© Владимирский государственный университет, 2003

ВВЕДЕНИЕ

Экструзия – технологический процесс, который применяют для непрерывного производства изделий высокого качества, точных размеров, с требуемой производительностью и полимерных материалов.

Для создания высокоэффективного производства необходимо использовать высокоскоростные машины, имеющие более точное и автоматизированное регулирование параметров экструзионных технологических процессов, внедрять полную механизацию и автоматизацию основных и вспомогательных операций, объединенных общей программой и системой дистанционного управления компьютерами.

Материал учебного пособия способствует закреплению теоретических знаний по курсам «Технология переработки пластмасс», «Оборудование заводов по переработке пластмасс», позволяет получить практические навыки инженера-технолога и проектировщика, а также содержит сведения, необходимые для выполнения технологических расчетов в курсовом и дипломном проектах (производительность, материальный баланс, энергозатраты) и проектный расчет экструдера.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Устройство экструдера

Экструдер (червячная машина, червячный пресс), в котором полимер расплавляется и гомогенизируется, является основной машиной промышленных линий, на которых осуществляется ряд взаимосвязанных операций процесса переработки. Он выполняет функции пластикатора и насоса, непрерывно продавливающего расплав материала, полученного в винтовом канале, через головку (формирующий канал).

По устройству и принципу работы основного узла, продавливающего расплав в головку, экструдеры подразделяются на шнековые, бесшнековые и комбинированные. Шнековые машины называют также червячными прессами.

Высокая пластицирующая способность червячных экструдеров обусловлена тем, что пластикация происходит как в результате теплопередачи от обогреваемых стенок цилиндра (корпуса), так и выделения тепла при деформациях, которым материал подвергается в экструдере.

Экструдеры подразделяют на одно- и двухчервячные (в последних оба червяка расположены в одном цилиндре); известны также трех- и четырехчервячные экструдеры; двух- или многоцилиндровые (каждый червяк расположен в отдельном цилиндре); одно- и двухстадийные, в которых пластикация и выдавливание материала осуществляется соответственно в одну или в две стадии; универсальные и специализированные; с осциллирующими (вдоль оси) и одновременно вращающимся шнеком; с зоной дегазации и без нее с вращением шнеков в одну и в противоположные стороны и т. п. [1,2].

Области эффективного применения двухчервячных машин:

- экструзия высоковязких нетермостабильных материалов (непластифицированный поливинилхлорид);
- экструзия рыхлых порошкообразных материалов;
- гомогенизация предварительно смешанных композиций на основе порошкообразных полимерных материалов;
- переработка материалов, подаваемых в машину в состоянии расплава;
- экструзия особо точных изделий [2].

В зависимости от расположения червяка различают горизонтальные и вертикальные экструдеры. В двухцилиндровых экструдерах один червяк может быть расположен горизонтально, а другой вертикально.

Выбор конструкции экструдера зависит главным образом от перерабатываемого материала и в меньшей степени от вида изделия.

Наиболее простым является одношнековый экструдер без зоны дегазации (рис. 1) [1]. Основными элементами экструдера являются обогреваемый цилиндр, шнек (с охлаждением или без него), сетки, размещаемые на решетке, и формующая головка. В зависимости от природы полимера, технологических режимов переработки применяются шнеки различного профиля, в частности с различным характером изменения глубины h нарезки по длине шнека.

Главные рабочие органы экструдера – полый цилиндр и вращающийся в нем шнек (червяк). Они выполняют последовательно ряд рабочих операций, действие которых может быть условно выделено в три зоны: загрузки, сжатия и дозирования (см. рис. 1).

Шнеки классифицируются по направлению вращения червяков; профилю сечения нарезки червяка (трапецеидальная, прямоугольная); по конструктивным приемам, обеспечивающим степень сжатия (с монотонно уменьшающимся шагом, со ступенчато уменьшающимся шагом, с монотонно возрастающей шириной гребня нарезки); конические червяки [1].

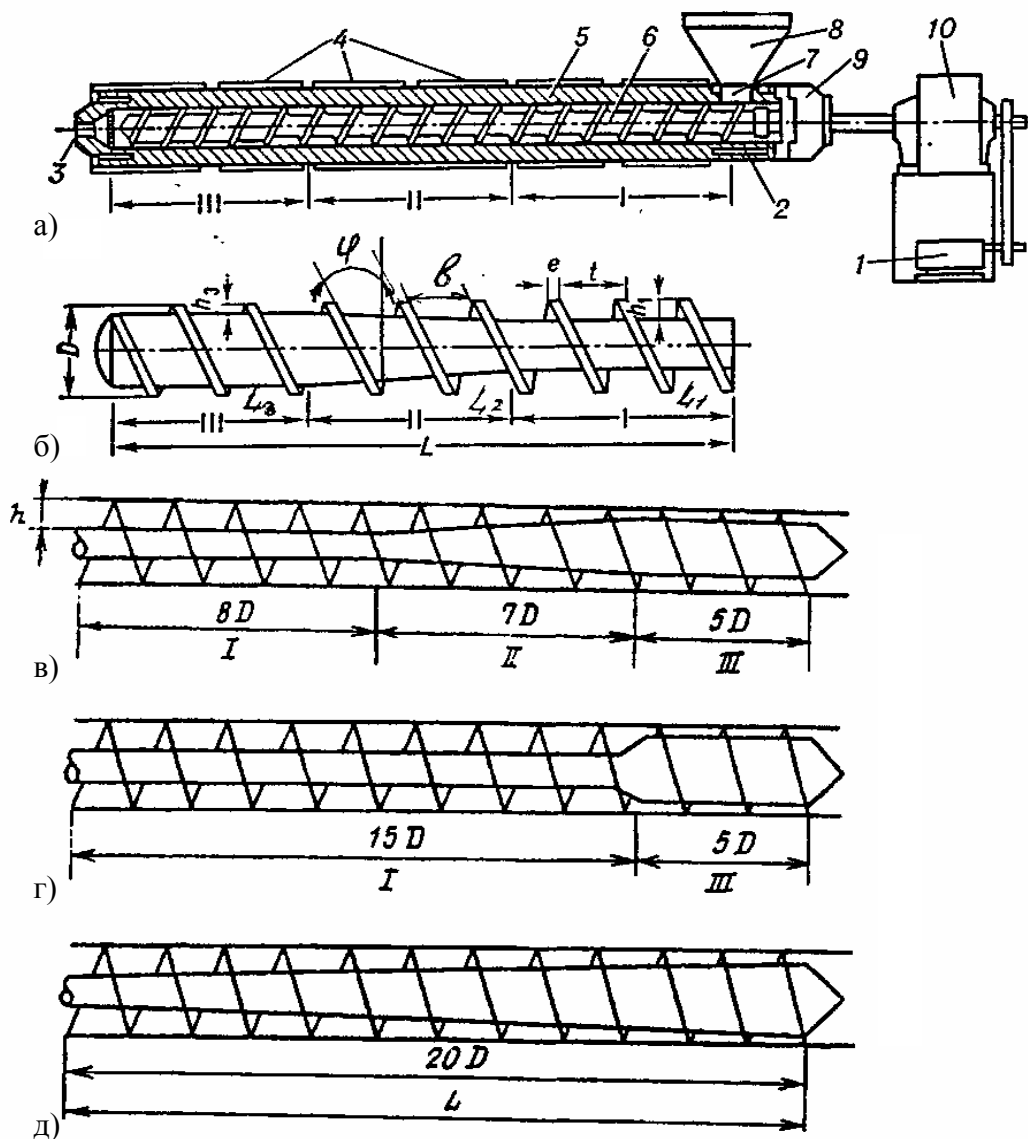


Рис.1. Одночервячный горизонтальный одностадийный экструдер (а) и червяк (б, в, г, д): 1 – двигатель, 2 – канал для охлаждения зоны бункера, 3 – канал для выхода расплава в профилирующую головку, 4 – нагреватели цилиндра (корпуса), 5 – цилиндр, 6 – червяк, 7 – загрузочная воронка, 8 – бункер, 9 – упорный подшипник, 10 – редуктор. Зоны червяка: I – питания (загрузки), II – сжатия (пластикации), III – выдавливания (дозирования). L – длина червяка; h_1, h_2, h_3 – глубина винтового канала в зонах питания, сжатия и пластикации соответственно; e – ширина гребня витка; t – шаг нарезки; v – ширина канала нарезки; D – диаметр шнека; φ – угол подъема винтовой линии шнека

Несмотря на чрезвычайное разнообразие конструкций, шнек характеризуется следующими основными геометрическими параметрами:

- диаметром D ;
- длиной L ;
- шагом винтовой нарезки t ;
- глубиной нарезки h ;
- шириной гребня витка e ;
- величиной зазора между гребнем шнека и внутренней стенкой цилиндра δ ;
- углом подъема винтовой линии нарезки шнека φ ;
- геометрической степенью сжатия.

Процессы, происходящие во всех экструдерах при переработке пластмасс:

- транспортировка материала вдоль винтового канала, образованного внутренней поверхностью цилиндра и нарезкой червяка. Она сопровождается интенсивным деформированием материала и развитием давления в винтовом канале;
- смешение (одновременно с транспортировкой) компонентов материала;
- нагрев материала за счет превращающейся в тепло работы деформирования и трения или за счет тепла, поступающего от цилиндра, снабженного нагревателями. Во всех конструкциях экструдеров обогрев цилиндра используется в период пуска, чтобы достичь рабочей температуры цилиндра. При достижении установившегося режима работы количество тепла, выделяющегося в результате рассеяния (диссипации) работы деформирования материала при транспортировке его в канале червяка, зачастую превышает то количество тепла, которое необходимо на нагрев материала до требуемой температуры; излишек тепла в таких случаях отводится системами охлаждения шнека и цилиндра [1, 8].
- переход материала из твердого (стеклообразного или кристаллического) в вязкотекучее состояние за счет нагрева;
- инициирование за счет нагрева различных химических реакций в материале (например разложение газообразователя и др.);

- уплотнение и монолитизация рыхлых сыпучих материалов вследствие развивающегося давления;
- формование расплава, заключающееся в том, что материалу с помощью головки (оснастки) придается определенная форма.

Для предотвращения попадания в формующий инструмент частиц непроплавленного полимера на выходе из экструдера на решетку в корпусе экструдера между червяком и головкой устанавливается пакет фильтрующих сеток. Конструкция фильтров должна удовлетворять различным требованиям [2, 6, 12].

Профилирующий инструмент – головки экструдера выполняют одновременно две или три функции:

- придание непрерывно выдавливаемому из головки материалу конфигурации будущего изделия или полуфабриката;
- фильтрация материала от инородных включений;
- наложение слоя материала на какой-либо сердечник, протягиваемый через головку (провод и т.п.).

Корпус экструдера обычно соединяется с головкой одним из четырех типов соединений [2]:

- 1) фланцевое крепление обычными болтами;
- 2) фланцевое крепление откидными шарнирными болтами;
- 3) быстродействующий затвор, состоящий из двух клиновых хомутов;
- 4) быстродействующий байонетный затвор, состоящий из установленных на корпусе байонетной гайки и неподвижного упорного фланца, укрепленного на головке.

Привод экструдера должен обеспечивать регулируемую частоту вращения шнека в различном диапазоне и необходимый для работы экструдера вращающий момент во всем рабочем диапазоне частот вращения червяка (рис. 2). Чаще всего применяют [1]:

- электродвигатели постоянного тока с тиристорным управлением;
- коллекторные двигатели переменного тока;

- в сочетании с механическими шестеренчатыми редукторами гидропривод и асинхронный двигатель.

Зависимость частоты вращения червяка от его диаметра показана на рис. 2.

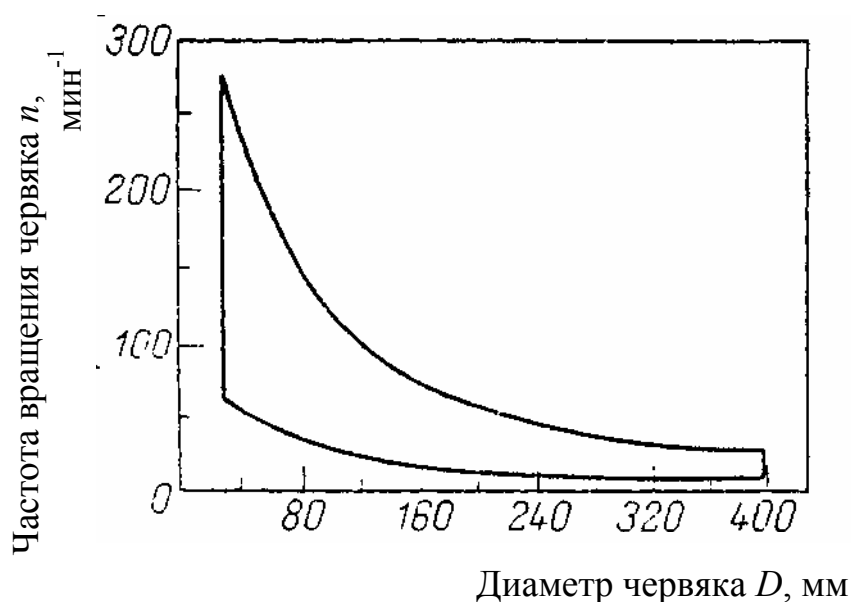


Рис. 2. Зависимость частоты вращения червяка от его диаметра. График построен по результатам обработки паспортных данных 500 современных экструдеров

1.2. Процессы, происходящие при экструзии

Технологический процесс экструзии складывается из последовательного перемещения материала вращающимся шнеком в его зонах: питания, пластикации, дозирования расплава, а затем продвижения расплава в канал формирующей головки.

Деление шнека на зоны I – III осуществляется по технологическому признаку и указывает на то, какую операцию в основном выполняет данный участок шнека. Разделение шнека на зоны условно, поскольку в зависимости от природы перерабатываемого полимера, температурно-скоростного режима процесса и других факторов начало и окончание определенных операций могут смещаться вдоль шнека, захватывая различные зоны или переходя из одного участка в другой.

Цилиндр также имеет установленные длины зон обогрева. Длина этих зон определяется расположением нагревателей на его поверхности и их температурой. Границы зон шнека I – III и зон обогрева цилиндра могут не совпадать.

Для обеспечения успешного продвижения материала большое значение имеют условия продвижения твердого материала из загрузочного бункера и заполнения межвиткового пространства, находящегося под воронкой бункера.

Рассмотрим поведение материала последовательно на каждом этапе экструзии [5].

Загрузка сырья. Исходное сырье для экструзии, подаваемое в бункер, может быть в виде порошка, гранул, лент. Последний вид сырья характерен для переработки отходов промышленного производства пленок и осуществляется на специальных экструдерах, снабженных принудительными питателями-дозаторами, устанавливаемыми в бункерах. Равномерное дозирование материала из бункера обеспечивает хорошее качество экструдата.

Переработка полимера в виде гранул – наилучший вариант питания экструдера. Это объясняется тем, что гранулы полимера меньше склонны к «зависанию», образованию пробок в бункере, чем порошок.

Порошкообразный материал может слеживаться в процессе хранения и транспортировки, в том числе и при прохождении через бункер. Гранулированный материал в отличие от порошка имеет постоянную насыпную массу.

Загрузка межвиткового пространства под воронкой бункера проходит на отрезке длины шнека, равном $(1 \dots 1,5)D$ [5].

При переработке многокомпонентных материалов для загрузки их в бункер применяются индивидуальные дозаторы: шнековые (объемные), вибрационные, весовые и т.п.

Если при применении порошкообразных материалов последние имеют непостоянную сыпучесть, то в бункерах образуются «своды», зависающие на стенках бункера. Питание шнека материалом прекращается. Для устранения этого необходимо в бункер помещать ворошители.

Сыпучесть материала зависит в большой степени от влажности: чем больше влажность, тем меньше сыпучесть. Поэтому материалы должны быть вначале подсушены [11, 14].

Для увеличения производительности машины гранулы можно предварительно подогреть. Применяя приспособления для принудительной подачи материала из бункера на шнек, также удастся существенно повысить производительность машины (в 3 – 4 раза).

При уплотнении материала в межвитковом пространстве шнека вытесненный воздух должен выходить обратно через бункер.

Наилучшей сыпучестью отличаются гранулы, полученные резкой заготовки на горячей решетке гранулятора: они не имеют острых углов и ребер. При длительной работе экструдера возможен перегрев цилиндра под воронкой бункера и самого бункера. В этом случае гранулы начинают слипаться и прекращается их подача на шнек. Для предотвращения перегрева в этой части цилиндра делают каналы для циркуляции охлаждающей воды.

Зона питания. В зоне питания уплотнение материала происходит, как правило, за счет уменьшения глубины нарезки h шнека. Продвижение полимера осуществляется вследствие разности значений силы трения полимера о внутреннюю поверхность корпуса цилиндра и о поверхность шнека. Поскольку поверхность контакта полимера с поверхностью шнека больше, чем с поверхностью цилиндра, необходимо уменьшить коэффициент трения полимера о шнек, так как в противном случае материал перестанет двигаться вдоль оси шнека, а начнет вращаться вместе с ним. Это достигается повышением температуры стенки цилиндра (нагревом) и понижением температуры шнека (охлаждением водой в зоне I). Иногда количество выделяющегося при внутреннем трении тепла может быть достаточным для плавления полимера, тогда нагреватели отключают. Этот режим называют адиабатическим. В подавляющем большинстве случаев процессы по этому принципу не строятся. При оптимальной температуре полимер спрессован, уплотнен и образует в межвитковом пространстве твердую пробку. Лучше всего, если такая скользящая пробка образуется и сохраняется на границе зон I и II. Свойства пробки во многом определяют производительность машины, стабильность транспортировки полимера, величину максимального давления (рис. 3).

Длина зоны питания (загрузки) составляет $(2...10)D$. Объемная производительность этой зоны зависит от объема спирального канала V (см³), образованного поверхностью цилиндра и шнека [4]:

$$V = [\pi (D^2 - d^2)/4] (t - e), \quad (1)$$

где d – диаметр тела шнека.

$$\text{При } d = D - 2h \quad V = \pi h(D - h) (t - e). \quad (2)$$

С увеличением частоты вращения шнека производительность экструдера должна возрастать в соответствии с уравнением:

$$Q = a\rho VN(\text{кг/ч}), \quad (3)$$

где Q – производительность машины; ρ – плотность полимера; V – объем спирального канала (объем нарезки одного витка шнека); a – коэффициент заполнения шнека (0,15 – 0,50).

Таким образом, загрузочная зона шнека будет тем больше забирать поступающего материала, чем больше диаметр шнека, глубина нарезки и шаг резьбы, и тем выше станет общая производительность экструдера.

Глубина спирального канала в зоне загрузки $h_1 > 2l_r$, где l_r – максимальный размер гранулы перерабатываемого материала.

Зона пластикации и плавления (II). В начале зоны II происходит подплавление полимера, примыкающего к поверхности цилиндра. Расплав постепенно накапливается и воздействует на убывающую по ширине пробку (рис. 3). Поскольку глубина нарезки шнека уменьшается по мере продвижения материала от зоны I к зоне III, то возникающее давление заставляет пробку плотно прижиматься к горячей стенке цилиндра, где и происходит плавление полимера.

В зоне пластикации пробка плавится также и под действием тепла, выделяющегося вследствие внутреннего, вязкого трения в материале в тонком слое расплава (поз. 3 на рис. 3), где происходят интенсивные сдвиговые деформации, материал пластицируется. Последнее обстоятельство приводит к выраженному смесительному эффекту. Расплав интенсивно гомогенизируется, а составляющие композиционного материала перемешиваются.

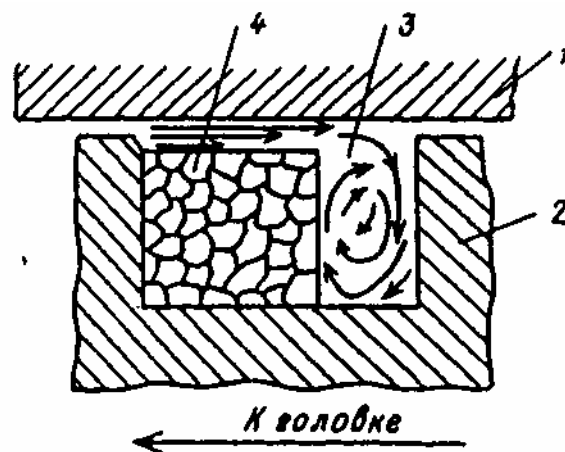


Рис. 3. Схема плавления пробки материала в зоне II в межвитковом сечении шнека: 1 – стенки цилиндра; 2 – гребень шнека; 3 – потоки расплава полимера; 4 – спрессованный твердый полимер (пробка) в экструдере

Конец зоны II характеризуется распадом пробки на отдельные фрагменты. Далее расплав полимера с остатками твердых частиц попадает в зону дозирования. Уменьшающаяся глубина нарезки шнека создает давление, которое необходимо для продавливания расплава через фильтрующие сетки, подачи его в головку, уплотнения и в итоге – для выхода сформованного изделия.

Основной подъем давления P расплава происходит на границе зон I и II. На этой границе образующаяся пробка из спрессованного материала как бы скользит по шнеку: в зоне I это твердый материал, в зоне II – плавящийся. Наличие этой пробки и создает основной вклад в повышение давления расплава. Запасенное на выходе из цилиндра давление расходуется на преодоление сопротивления сеток, течения расплава в каналах головки и формования изделия.

Зона дозирования (III). Продвижение гетерогенного материала (расплав, частички твердого полимера) продолжает сопровождаться выделением внутреннего тепла, которое является результатом интенсивных сдвиговых деформаций в полимере. Расплавленная масса продолжает гомогенизироваться, что проявляется в окончательном плавлении остатков твердого полимера, усреднении вязкости и температуры расплавленной части. В межвитковом пространстве расплав имеет ряд потоков, основными из которых являются продольный и циркуляционный. Величина продольного (вдоль оси шнека) потока определяет производительность экструдера Q , а циркуляционного – качество гомогенности полимера или смешения компонентов. В свою очередь продольный поток складывается из трех потоков расплава: прямого, обратного и потока утечек.

На рис. 4 показаны эпюры распределения скоростей прямого (а), обратного (б) и результирующего (в) потоков расплава в межвитковом пространстве шнека. Если бы не было сопротивлений потока (например при отсутствии сеток и головки), то распределение скоростей V результирующего потока было изображено (рис. 5, а) следующим образом: у поверхности шнека $V = \max$, у неподвижной поверхности цилиндра $V = 0$. Это имело бы место в случае отсутствия сопротивления течению расплава. При наличии сеток, оснастки, трения о поверхность цилиндра и шнека создает-

ся обратный поток, или противоток (рис. 5, б). Результирующий поток, изображенный на рис. 5, в, представляет собой сложение эюр, приведенных на рис. 5, а и б. При отсутствии сопротивления расплава (сняты головка, сетки) давление P чуть больше атмосферного; при максимальном сопротивлении (заглушка вместо головки) P максимально, а величины прямого и обратного потоков равны.

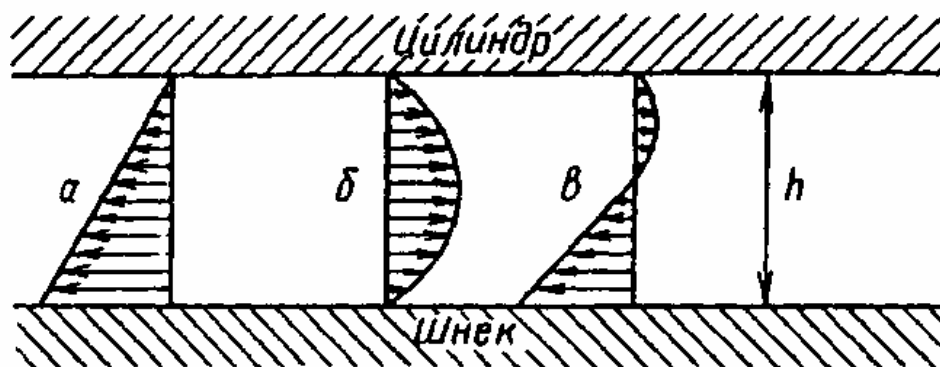


Рис. 4. Эюры скоростей расплава: а – прямой поток, б – обратный поток, в – результирующий поток, h – расстояние между движущейся (шнек) и неподвижной (цилиндр) поверхностями

Часть материала перетекает в направлении противотока в зазор между гребнем шнека и поверхностью цилиндра. Таким образом, производительность Q экструдера с учетом распределения скоростей различных потоков составляет

$$Q = Q_{\alpha} - Q_{\beta} - Q_{\gamma}, \quad (4)$$

где $Q_{\alpha}, Q_{\beta}, Q_{\gamma}$ – производительности экструдера от прямого потока, противотока и утечек расплава соответственно.

В свою очередь, Q_{α}, Q_{β} и Q_{γ} зависят от параметров технологии и экструдера:

$$Q = \alpha N - (\beta + \gamma)P / \eta, \quad (5)$$

где N – частота вращения шнека; P – давление на выходе из шнека (в конце зоны III); η – средняя вязкость расплава; α, β, γ – постоянные коэффициенты, зависящие от геометрических параметров шнека.

$$\alpha = \pi^2 D^2 h \sin \varphi \cos \varphi / 2; \quad \beta = \pi D h^3 \sin^2 \varphi / (12L); \quad \gamma = \pi^2 D^2 \delta^3 \operatorname{tg} \varphi / (10Le),$$

где D – диаметр, L – длина, h – глубина нарезки, φ – угол подъема винтовой линии шнека, δ – зазор между гребнем и поверхностью цилиндра, e – ширина гребня шнека (см. рис.1).

Графическое изображение аналитической зависимости (5) представлено на рис. 5 прямыми 1 и 2. Из рисунка следует, что при отсутствии сопротивлений течению расплава ($P = 0$) экструдер работает как винтовой насос с максимальной производительностью Q . Если на выходе из экструдера стоит заглушка, т.е. $\alpha N = (\beta + \gamma)P/\eta$, то в нем развивается максимальное давление P , а $Q = 0$.

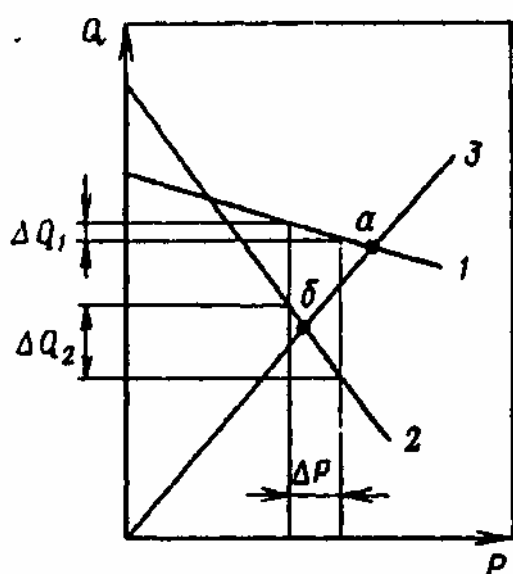


Рис. 5. Зависимость производительности Q от давления P расплава на выходе из экструдера: 1, 2 – характеристики шнека, 3 – характеристики головки: а и б – рабочие точки

Анализируя уравнение (5) и значения коэффициентов α , β , и γ , можно проследить влияние геометрических параметров шнека и свойств расплава полимера на производительность Q и характер изменения Q от P , т.е. угол наклона прямых 1 и 2 на рис. 5 [5]. Последнее имеет важное практическое значение. При небольшом колебании ΔP (см. рис. 5), которое может возникнуть при практической работе, последнее сказывается на величине колебания ΔQ_1 или ΔQ_2 . Чем больше ΔQ , тем больше пульсация расплава, т.е. больше неравномерность во времени скорости и выхода

расплава. Это сказывается в первую очередь на разнотолщинности получаемых изделий. Разнотолщинность тем больше, чем выше ΔQ . Из уравнения (5) легко показать, что при прочих равных условиях у экструдеров с большим L/D колебания ΔQ , т.е. пульсация, меньше, чем у экструдеров с меньшим L/D . При равенстве D первый тип экструдера называется длинношнековым, второй – короткошнековым. Кроме того, увеличение L способствует получению расплава более гомогенного, так как время воздейст-

вия на него шнека больше, чем в короткошнековых экструдерах. Изделия, получаемые из гомогенного расплава, обладают лучшими свойствами.

Короткошнековые экструдеры имеют $L/D = 12 \dots 18$, длинношнековые – $L/D > 30$. Наиболее распространены экструдеры с $L/D = 20 \dots 25$.

Течение расплава через сетки и формующую оснастку. Расплав вращающимся шнеком продавливается через решетку, к которой прижаты металлические сетки. Сетки фильтруют, гомогенизируют и создают сопротивление движению расплава, на них теряется часть давления. Проходя через систему фильтрующих сеток, порции полимерного расплава с большей вязкостью задерживаются на сетках. Этого времени должно хватить для того, чтобы порция расплава достигла нужной температуры. Сверхвысокомолекулярные фракции полимера и различные примеси задерживаются сетками и через некоторое время они вместе с сеткой удаляются из цилиндра экструдера.

После прохождения сеток гомогенизированный расплав под остаточным давлением ($P = 5,0 \dots 35$ МПа) продавливается в формующую оснастку и, приобретая определенный профиль, выходит практически под очень небольшим избыточным давлением из фильерной части головки.

Кривая 3 на рис. 5 показывает зависимость Q от P . Количество расплава $Q_{\text{гол}}$, выходящего через головку, можно представить следующим соотношением:

$$Q_{\text{гол}} = K \frac{\Delta P}{\eta}, \quad (6)$$

где $\Delta P = P - P_{\text{вых}}$ – перепад давления в головке (здесь P – давление на входе в головку – конец зоны III, $P_{\text{вых}}$ – давление на выходе из головки); η – вязкость расплава в головке; K – постоянная, характеризующая сопротивление течению расплава в каналах и формующей части головки.

Если в головке имеется только один цилиндрический канал, например для изготовления прутка, то $K = \pi R_{\text{н}}^4 / (8l_{\text{ф}})$, а уравнение (6) преобразуется в известное уравнение Пуазейля. Для головки с плоской формующей щелью

$$K = n' \delta_{\text{щ}} / (12l_{\text{ф}}),$$

с кольцевой

$$K = \pi(R_{\text{н}} + R_{\text{в}})(R_{\text{н}} - R_{\text{в}})^3 / (12l_{\text{ф}}),$$

где R_n – наружный радиус щели; R_v – внутренний радиус щели; n' – ширина щели; $\delta_{щ}$ – толщина щели; l_ϕ – длина формующей части щели.

Таким образом, из трех основных форм сечений головок можно рассчитать K головки, состоящей из их сочетаний.

Для получения качественных изделий необходимо, чтобы заключительный отрезок пути расплав перемещался некоторое время при постоянной длине l_ϕ и толщине $\delta_{щ}$ калибруемой формующей части (рис. 6). В этом случае происходит наиболее полное выравнивание скоростей движения расплава, проходят релаксационные процессы, ликвидируется пульсация и т.д. Чем длиннее l_ϕ (больше $l_\phi/\delta_{щ}$), тем меньше пульсация расплава. В зависимости от типа выпускаемого изделия и требований к точности его размеров значения $l_\phi/\delta_{щ}$ находятся в пределах 20 – 60.

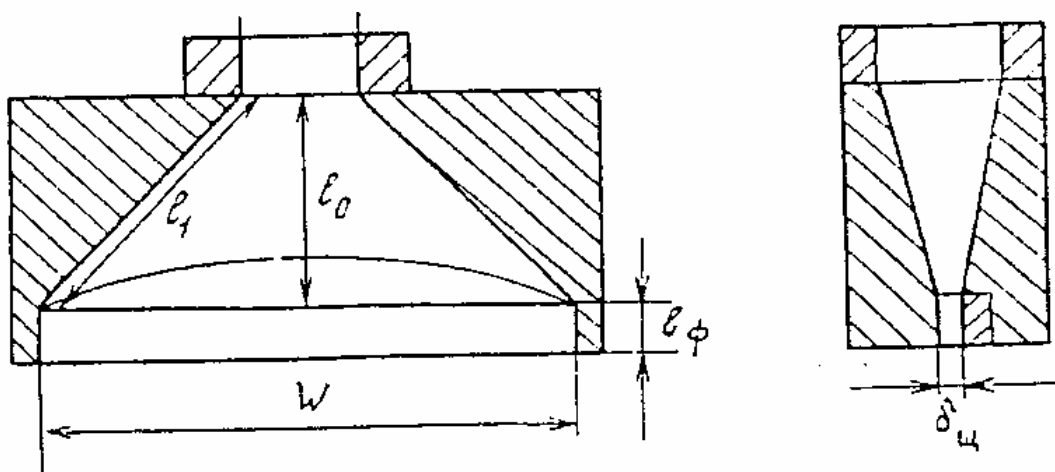


Рис.6. Схема листовальной головки [5]: D – ширина (диаметр) подводящего канала от экструдера; W – ширина формующей щели; l_0 , l_1 – длина пути расплава; l_ϕ – длина формующей части щели; $\delta_{щ}$ – толщина формующей щели

Работа экструдера в сочетании с головкой. Поскольку экструдер работает вместе с головкой, то и производительность его находится путем совместного решения уравнений (5) и (6) или графически (см. рис. 5) как точка пересечения прямых 1 и 2 с прямой 3. Точки а и б пересечения называются *рабочими точками*.

Упрощенный аналитический расчет Q машины с одним шнеком, уменьшающейся глубиной нарезки канала шнека, с учетом сеток и головки можно производить по формуле

$$Q = \alpha KN / (K + \beta + \gamma), \quad (7)$$

где Q – производительность, $\text{см}^3/\text{мин}$; α , β , γ – постоянные прямого и обратного потоков и потока утечек, см^3 ; K – постоянная головки, сеток, решетки, см^3 .

Для различных головок K различна и рассчитывается по соответствующим формулам общего вида:

$$K = 1 / \sum (1 / K_i), \quad (8)$$

где K_i – коэффициент сопротивления каждого из элементов головки, сеток и решетки.

Реальные зависимости $Q - P$ (см. рис. 6) не являются прямолинейными. Зоны экструдера, формирующей оснастки имеют различный внешний обогрев, кроме того, в зависимости от интенсивности вращения шнека в расплаве выделяется разное количество тепла. Поэтому такие важнейшие характеристики, как вязкость и плотность расплава зависят от температуры и не являются строго постоянными. Эти и другие факторы ведут к отклонению зависимостей (5) и (6) от прямолинейности.

Экструзия большинства расплавов термопластов происходит в следующих интервалах скоростей сдвига и напряжений сдвига:

$$\lg(\dot{\gamma}, \text{с}^{-1}) = 2 \dots 3; \lg(\tau, \text{Па}) = 4,5 \dots 5,5 \text{ (прил. 1)}.$$

Основные параметры процесса экструзии. К технологическим параметрам относится температура переработки полимера, давление расплава, температура зон головки температурные режимы охлаждения сформованного экструдата [1, 2].

Основными технологическими характеристиками экструдера являются L , D , L/D , скорость вращения шнека N , геометрический профиль шнека, степень изменения объема канала шнека (прил. 1, табл. 5).

Основной характеристикой формирующей оснастки (вместе с фильтрующими сетками) является коэффициент сопротивления течению расплава K .

Перепад давления на фильтрующих сетках служит показателем засорения, т.е. увеличения сопротивления сеток, и, следовательно, сигналом к их замене.

Показателем работы экструдера является его эффективность – отношение производительности к потребляемой мощности.

1.3. Экструзионные установки.

Краткая характеристика основного оборудования. Виды брака

Большинство термопластов перерабатывается экструзией при соблюдении одного условия: время пребывания расплава полимера в экструдере при данной температуре должно быть меньше времени термостабильности полимера при той же температуре и технологичности полимера (см. прил. 1). При оценке технологичности решающее значение имеет величина высокоэластической составляющей расплава.

1.3.1. Изготовление рукавной пленки

Преимущества рукавного метода производства пленок состоят в универсальности и простоте регулирования как размеров, так и свойств, в отсутствии отходов, возможности выпуска пленок с термоусадочными свойствами и т.п. [1,6].

Основное оборудование. При производстве пленок применяются экструзионные установки с длинными шнеками для устранения пульсации расплава [4]. Применяются экструдеры с $L/D = 20 - 25$, с D от 20 до 90 мм (иногда до 120 мм). Пленки получают после вытяжки и раздува толщиной от 10 до 300 мкм с колебанием толщины 10 % (прил. 6).

Основным требованием к экструзионным головкам является постоянство сопротивления текущему расплаву в каналах формирующего инструмента и, как следствие этого, постоянство скорости выхода экструдата по всему периметру формирующей щели.

Режимы экструзии рукавных пленок. В табл. 1 (прил. 1) представлены температурные режимы экструзии рукавной заготовки из ПЭ.

Из таблицы видно, что температура зоны 1 выше температуры плавления, хотя полимер здесь не должен плавиться. Причина этого заключается в том, что температурные диапазоны таблицы следуют из показаний термопар, расположенных в теле цилиндра близко к нагревательным элементам. Поэтому они не отражают истинной температуры полимера в этой зоне. Для машин с диаметром шнека более 60 мм предусмотрено охлаждение последнего водой, и, следовательно, температура гранул, примыкающих к его поверхности, ниже.

Температурные режимы зависят также от конструкции машин, типа нагревательной системы, месторасположения термодатчиков и т.п. и могут колебаться в широких пределах.

Большое значение имеют величины давления расплава до сеток и после них. При переработке ПЭНП давление до сеток может быть в пределах 15...25 МПа, после сеток 10...15 МПа, для ПЭВП соответственно 18...28 и 13...18; для ПП – 20...30 и 15...20 МПа.

Частота вращения шнека зависит от его геометрии, от L/D , от D , размеров пленки и т.д.

Вытяжка и раздув рукава приводят к утонению заготовки и к ориентации цепей макромолекул в пленке. Количественно вытяжка может быть оценена степенью вытяжки ϵ_B :

$$\epsilon_B = V_{пл} / V_3, \quad (9)$$

где $V_{пл}$ – скорость движения пленки после тянущих валков, равная линейной скорости вращения тянущих валков; V_3 – скорость выхода экструдата из головки.

Соответственно степень раздува ϵ_p определяется как

$$\epsilon_p = D_p / d_3, \quad (10)$$

где D_p – диаметр раздутого рукава; d_3 – диаметр рукава, выходящего из кольцевого зазора головки.

Толщина пленки $\delta_{пл}$ может быть рассчитана как

$$\delta_{пл} = \delta_3 / (\epsilon_p \epsilon_B), \quad (11)$$

где δ_3 – толщина экструдата (пренебрегая разбуханием расплава, можно считать $\delta_3 = \delta_{щ}$, где $\delta_{щ}$ – толщина кольцевого зазора щели головки).

Общая величина деформации экструзионной рукавной заготовки оценивается как

$$\epsilon_{общ} = \delta_3 / \delta_{пл} = \epsilon_p \epsilon_B. \quad (12)$$

Предварительно рассчитав производительность экструдера Q , например по уравнению 7, можно подсчитать скорость V_3 :

$$V_3 = Q / (\rho d_3 \delta_{щ}), \quad (13)$$

где произведение $d_3 \delta_{щ}$ – площадь поперечного сечения рукавной заготовки расплава; ρ – плотность расплава.

Практически для получения рукавных пленок из полиэтиленов используются величины $\epsilon_p \approx 2,5 \dots 3,5$ и $\epsilon_b \approx 1,5 \dots 3,0$.

Большие значения ϵ_p и ϵ_b приводят к снижению стабильности размеров рукава, заметному проявлению недостатков конструкции оснастки и равномерности охлаждения. С увеличением ϵ_b и ϵ_p возрастает ориентация макромолекул, что ведет к увеличению механических характеристик изделия. Изменяя соотношение ϵ_b / ϵ_p , удается получать пленки, ориентированные, равнопрочные или с заданной прочностью в продольном и поперечном направлениях.

Виды брака при производстве рукавной пленки. Как следует из предыдущего раздела, при изменении технологических параметров процесса свойства пленок могут даже выходить за рамки, оговорённые в технических условиях.

Так, причинами *пониженной прочности* плёнок могут служить:

1) недостаточно высокие значения ϵ_b и ϵ_p ; 2) перегрев расплава полимера, приводящий к термодеструкции; 3) некондиционное сырьё (влажность и т.п.).

Повышенная разнотолщинность пленок может быть обусловлена:

1) неравномерностью зазора $\delta_{ш}$ по периметру и как следствие – исходной разнотолщинностью рукавной заготовки; в этом случае говорят о продольной разнотолщинности; 2) повышенным уровнем пульсации расплава или колебаниями скорости вращения тянущих валков; 3) при очень больших ϵ_p и ϵ_b пленка может быть разнотолщинной в разной степени в зависимости от гомогенности расплава и его исходной разнотолщинности; 4) нестабильностью геометрического положения раздуваемого рукава, его подвижностью относительно оси симметрии.

Оптические дефекты типа «гелики», «рыбий глаз» возникают по нескольким причинам: 1) из-за попадания непроплавленных порций полимеров в головку; 2) из-за слишком большого количества фракций полимеров с высокой молекулярной массой; 3) по причине значительного эластического разбухания расплава появляются искажения поверхности пленки в виде «дымчатости»; 4) из-за плохой гомогенизации расплава во 2-й и 3-й зонах экструдера и на сетках.

Грубые дефекты в виде пузырей и сплошных отверстий возникают в пленках из-за большого содержания влаги в исходном сырьё.

Наиболее частым видом брака является образование *искривленных складок рукава в поперечном направлении*. Пленка, попадая в контакт с поверхностью складывающихся щек, должна иметь минимальное трение по их поверхности, и угол расхождения щек должен быть таким, чтобы длины по боковым и центральным линиям были равны. Если трение велико и велика разность между длинами этих путей, то по мере складывания рукава на поверхности будут образовываться складки. Для устранения этого дефекта рекомендуется обеспечивать по возможности минимальный угол расхождения щек. Однако уменьшение угла неизбежно вызовет увеличение эффективной длины контакта поверхности щек с пленкой. С увеличением эффективной длины щек растет поверхность соприкосновения их с пленкой, увеличивается сила трения и посередине рукава также образуются складки. Для устранения этого необходимо либо уменьшить длину щек, либо применить специальную распорно-разглаживающую вилку, находящуюся внутри рукава на уровне складывания пленки.

Если в процессе пуска производства происходит «спайка» сложенного рукава и полотна плохо разделяются, то причина этого явления заключена в слишком высокой температуре пленки в момент ее попадания в зазор тянущих валков.

1.3.2. Изготовление плоских пленок и листов

Технология изготовления плоских пленок и листов из термопластов заключается в непрерывной экструзии расплава полимера через широкую плоскую щель формующей головки с последующим охлаждением плоского полотна либо на поверхности вращающихся валов, либо в охлаждающей ванне. Между пленками и листами четкой границы нет. Принято считать, что заготовка толщиной менее 1 мм – пленка, более 1 мм – лист. Различие процессов получения пленок и листов начинается с момента охлаждения получаемой экструзионной заготовки.

Основное оборудование, применяемое для получения плоских пленок, – экструдеры с типичным отношением $L/D = 25/35$, а листов – 10/25.

Причина применения длинношнековых экструдеров для получения тонких пленок та же, что и для рукавных пленок – уменьшение пульсации расплава. Короткошнековые экструдеры более дешевы, и для получения листа-заготовки допускается определенное колебание ΔQ . Последнее незначительно влияет на качество готовых листов, так как после экструдера

заготовка проходит окончательное калибрование по толщине в регулируемых зазорах между валками каландра.

Для выравнивания этих скоростей применяют различные механические и редко – технологические способы. Первый способ – уменьшить сечение каналов центральной (по l_0) части головки регулировочными болтами; применить накопители расплава в полостях головки, буферные каналы и т.п. Второй способ – несколько уменьшить температуру поверхности центральной части головки, особенно вблизи формования листа (по l_0). Предпочтение отдается первому способу.

Для получения экструдата с большей устойчивостью, постоянством скорости выхода из щели, релаксации напряжений расплава необходимо применять длинноканальные головки, т.е. с отношением $l_0/\delta_{щ} \geq 30 - 50$. При этом пульсация расплава сводится до минимума. Это особенно важно для получения равнотолщинных заготовок-экструдатов.

Поверхность приемных устройств должна быть отполирована до зеркального блеска. Если необходимо получить изделия с рифленой или матированной поверхностью, то поверхность приемного устройства также должна иметь соответствующий профиль. Приемные охлаждаемые валки должны иметь равномерные температурные поля по всей поверхности. При медленном охлаждении на воздухе путь пленки или листа должен соответствовать условиям теплоотдачи и скорости их движения. Каландр – трех- или четырехвалковый агрегат с индивидуальным приводом каждого валька, желателен с Z-образным расположением валков. Рольганг – агрегат с многими валками, вращающимися свободно или с индивидуальным приводом.

Технологические режимы получения листов и плоских пленок. Основные технологические режимы экструзии плоских пленок те же, что и для рукавных. Специфика процесса состоит из последующих стадий охлаждения и образования соответствующей надмолекулярной структуры.

При получении пленок с аморфизированной структурой применяются охлаждение расплава в ледяной воде или на поверхности холодного барабана. При получении толстых пленок поверхность барабана может иметь большую температуру либо даже дополнительный прогрев. Это необходимо для снижения остаточных напряжений, возникающих при резком охлаждении расплава. Окончательное охлаждение толстых пленок происходит на воздухе по пути их следования от приемного валкового оборудования до намоточного устройства.

Расстояние между поверхностью головки и поверхностью приемного барабана или зеркала воды должно быть минимальным для предотвращения самопроизвольного растяжения пленок и сужения расплавленной ленты.

Толщину пленок можно менять изменением $\delta_{\text{шц}}$ при соответствующем изменении частоты вращения шнека либо увеличением скорости вращения приемного барабана. В последнем случае пленка или лист утоняются. Для пленок из ПЭ температура воды в охлаждающей ванне составляет 50 – 80 °С. Такова же и температура поверхности валков при получении другим способом.

Специфика получения толстых пленок и листов состоит в следующем.

1. Для предотвращения провисания листа-экструдата между головкой и приемными валками каландра необходимо иметь расплав большей вязкости, чем это нужно для пленок. Увеличение вязкости достигается либо выбором полимера с меньшим ПТР, либо снижением на 2 – 5 °С температуры формующей части головки по сравнению с температурой при получении пленок.

2. Линейные скорости листа на всем протяжении движения экструдата до резки должны быть синхронизированы. Это связано с тем, что при калибровке происходит утонение листа и некоторое увеличение его длины, а при охлаждении на рольганге – значительное уменьшение длины. С учетом усадки 3 – 4 % скорость тянущих устройств должна быть меньше скорости выхода листа с последнего валка каландра.

3. Лимитирующей стадиям процесса являются время и режим охлаждения листа на рольганге.

4. При производстве толстых пленок и листов нельзя пренебрегать величиной разбухания расплава при выходе из головки. Величина разбухания расплава (около 10 – 12 %) тем выше, чем больше его вязкость, чем толще заготовка, и зависит от конструкции головки.

Виды брака при производстве плоских пленок и листов. Главные виды брака при производстве пленок и листов возникают в результате грубых нарушений технологического регламента процесса и чисто механических неисправностей оборудования.

Глубокие продольные полосы, грубая поверхность пленок и листов могут быть обусловлены: 1) повреждениями поверхности формующей щели; 2) образованиями большого количества подгоревшего материала на щели; 3) повреждениями поверхности валков каландра, охлаждающего барабана.

Поры, раковины, выпуклости образуются вследствие: 1) повышенного содержания влаги; 2) избытка легколетучих примесей.

Большая усадка, анизотропия механических свойств обусловлены: 1) повышенной фильерной вытяжкой, вытяжкой на каландре; 2) слишком быстрым охлаждением на рольганге и вследствие этого фиксацией остаточных напряжений.

Разнотолщинность пленок и листов образуется из-за: 1) существенной пульсации расплава; 2) большой разнотолщинности экструдированной заготовки.

Повышенная хрупкость толстых пленок из кристаллизирующихся полимеров может возникать по следующей причине: на стороне пленки, которая примыкает к поверхности барабана, фиксируется аморфная структура полимера. Внешняя сторона охлаждается наружным воздухом значительно большее время до той же температуры, и полимер кристаллизуется в различной степени. Пленка приобретает структурную неоднородность по толщине, из-за чего дальнейшая переработка такой пленки затрудняется.

1.3.3. Изготовление труб, шлангов, профилей

Основное оборудование. Для изделий, которые получают с использованием в схеме калибрующих устройств, применяют экструзионные установки с $L/D = 20...25$, т.е. короткошнековые агрегаты. Это связано с тем, что некоторая доля пульсации расплава не будет влиять на ухудшение качества изделий, так как калибровка полуфабриката устранит этот дефект.

Виды брака при производстве труб. *Шероховатая наружная или внутренняя поверхность* труб получается: 1) при наличии в материале повышенного содержания влаги; 2) при загрязнении поверхности формующей части головки; 3) в случае низкой температуры расплава. Последнее происходит из-за неустойчивого течения расплава (эластическая турбулентность). Поскольку температура мала, то при калибровании крупные

выступы на поверхности трубной заготовки не смогут полностью деформироваться (разгладиться). Поверхность трубы, которая не калибруется, сохранит или даже усилит тот уровень шероховатости, который получился при экструзии заготовки.

Несоответствие геометрических размеров изделия чертежам может происходить из-за неполадок в оборудовании: 1) разнотолщинность – из-за неотрегулированного формирующего зазора щели; 2) овальность – из-за смещения дорна относительно оси симметрии дорн – мундштук или из-за овальности калибрующей насадки и т.п.

Продольные трещины, как непосредственно видимые после изготовления, так и возникающие при специальных контрольных испытаниях труб, образуются из-за плохой свариваемости потоков расплава полимера при его рассечении дорнодержателем. Свариваемость улучшается, если увеличить взаимодиффузию сегментов поверхности отдельных потоков расплава. Последнее достигается увеличением температуры расплава, а также повышением давления. *Концентрические складки, кольца по длине* трубы образуются: 1) из-за большой пульсации расплава полимера при экструзии; 2) из-за неравномерного по времени охлаждения; 3) из-за неравномерной скорости отвода трубы тянущим устройством.

Низкий уровень механических свойств, долговечности при эксплуатации обусловлен наличием высоких остаточных напряжений. Необходимо изменить температуру, скорость выхода экструдата и температурно-временные условия предварительного охлаждения трубной заготовки так, чтобы произошла максимальная релаксация напряжений.

Повышенная усадка при тепловых испытаниях изделий связана с большим уровнем ориентации цепей полимера либо в осевом, либо в радиальном направлениях. Это негативное явление устраняется за счет уменьшения степени радиальной и осевой вытяжки труб на стадии калибрования, а также наиболее полной релаксации напряжений.

Контрольные вопросы и задания

1. В чем состоит сущность процесса экструзии полимеров?
2. Перечислите основные процессы, происходящие при экструзии.

3. Проанализируйте диаграмму $Q - P$ экструдера с головкой.
4. Как влияют отдельные геометрические параметры экструдера на его производительность? Напишите общее уравнение производительности.
5. Что такое пульсация и каковы причины ее возникновения?
6. Опишите технологическую схему производства рукавных пленок, листов, труб, профилей.
7. Проанализируйте влияние технологических параметров на свойства пленок, листов, труб.
8. В чем состоит сущность работы двухшнековых экструдеров? В чем их отличие от одношнековых?
9. Опишите процессы, происходящие при калибровке труб, листов.
10. Рассчитайте длину калибрующего устройства при производстве труб.
11. Какие материалы перерабатываются методом экструзии?
12. Перечислите ассортимент изделий, получаемых методом экструзии.
13. Проанализируйте причины брака при производстве листов, пленок и труб.
14. Одношнековые экструдеры имеют ряд характерных недостатков: практически нельзя регулировать в широком диапазоне время пребывания полимерного материала в цилиндре, что сказывается на переработке многих материалов; недостаточный градиент скорости сдвига перерабатываемого материала сказывается на перемешивающей и гомогенизирующей способности экструдера; довольно слабая транспортирующая способность шнека при работе с мелким порошком, волокнистой путанкой, пастой. Что можно сделать для снижения этих недостатков и улучшения условий работы машины?
15. Современные экструдеры используют приводы очень большой мощности. На какие цели затрачивается мощность привода экструдера в каждой зоне? Возможно ли снижение затрат на мощности и как этого достигнуть?
16. Какие факторы и параметры следует учитывать при выборе экструдера для изготовления конкретного изделия?

2. РАСЧЕТЫ

Любые проекты, в том числе курсовые и дипломные содержат расчеты, которые должны обосновывать целесообразность проектирования на намеченных площадках строительства. Разрабатывается технологическая схема и в соответствии с ней компоновка оборудования и конструктивное решение здания (прил. 3) рассчитываются основные технико-экономические показатели, подтверждающие экономическую эффективность строительства и эксплуатации производства. Поэтому один из ответственных этапов проектирования – это проектирования является анализ работы действующего производства (база практики), выявление причин его неудовлетворительной работы, так как *целью любого проекта является применение новых технических решений в проектируемом производстве для устранения недостатков базового производства.*

Обоснование проектной мощности (объем производства) осуществляется одновременно с определением потребности в продукции, обоснованием ее типоразмеров, условий эксплуатации, наличием сырьевой базы, обеспеченностью топливно-энергетическими ресурсами и др. [13, 14].

Номенклатуру продукции и программу производства дают в натуральном и весовом выражениях с перечнем видов и количества основного сырья, при этом обязательно указывать стандарт. Эти данные оформляются в виде табл. 1. После анализа недостатков (табл. 2, 3) базового производства и в связи с принятием новых технических решений возможно снижения потерь на проектируемом производстве.

Материальный баланс проектируемого производства рассчитывают по каждой стадии технологического процесса на 1000 кг готовой продукции по каждому изделию выбранной номенклатуры (табл. 4.) и результаты расчетов оформляют в форме табл. 5.

Вторым важным этапом технологической части проекта является обоснованный выбор типоразмера основного перерабатывающего оборудования, наиболее оптимального с точки зрения формирования изделия заданных размеров из полимерного материала. Для этого выполняют проектный расчет основного оборудования (экструдера), входящего в состав экструзионной линии. По результатам расчета мощностей электродвигателей (привода) рассчитывают расход электроэнергии проектируемого производства.

Ассортимент и объем продукции на проектируемом производстве экструзионных изделий

Изделие	Марка, размеры	Стандарт на готовую продукцию	Годовая программа		Масса, кг	**Норма расхода сырья Н _р , кг	Сырье		
			м*	т			Наименование	Стандарт	Объем, т/год
Пленки	Ширина, толщина	ТУ, ГОСТ	млн м ²		1 м ²		Рецептура	ТУ, ГОСТ	
Трубы	Диаметр, толщина стенки (сортамент)	>>	млн м пог.		1 м пог.		>>	>>	
Профильные изделия	Эскиз профиля, шифр чертежа (эскиза)	>>	млн. м погонный		1 м пог.		>>	>>	
Гранулы	Форма, размер, цвет	>>	т		Средняя масса гранулы		>>	>>	

* Подзаголовок графы с размерностью приведен в колонке, где при расчете в зависимости от количества планируемого выпуска вписывают соответствующие цифры.

**Нормы расхода приведены в прил. 4.

2.1. Материальный баланс

Материальный баланс производства выполняют с целью определения потребности в сырье и полуфабрикатах, вспомогательных материалах, а также количества возвратных и безвозвратных отходов (потерь). Материальный баланс служит основой для определения производительности оборудования и его количества, технико-экономических показателей проектируемого производства.

Исходные данные для материального баланса:

- наименование изделия в соответствии со стандартом (ГОСТ, ОСТ, ТУ);
- проектная производительность (т/год), обоснованная в соответствии с эффективностью применения пластмассовых изделий в выбранном ассортименте (см. табл. 1);
- сырье, масса изделия (готовой продукции), кг, (табл. 1);
- расходные нормы (по базовому предприятию) (табл. 2);
- эффективный фонд времени работы оборудования $T_{эф}$ (прил. 4).

Таблица 2

Анализ безвозвратных потерь

Безвозвратные потери по стадиям производства	Потери на базовом производстве, на 1 т	Потери на проектируемом производстве, на 1 т
При хранении и транспортировке В подготовительных операциях В основном технологическом процессе При механической обработке При переналадке производства При дроблении возвратных отходов		

Таблица 3

Анализ материального баланса проектируемого производства (возвратные отходы)

Операция	Возвратные отходы		На проектируемом производстве	
	$q_{вз}$, кг	$a_{вз}$, %	$q_{вз}$, кг	$a_{вз}$, %
Итого				

Таблица 4

Пример. Материальный баланс производства 1000 кг пленки ПЭТ

Статьи прихода	Кол-во, кг	Статьи расхода	Кол-во, кг
1. Подготовка сырья			
Гранулы ПЭТФ	1069,31	Гранулы ПЭТФ	1069,31
Итого	1069,31		1069,31
2. Сушка гранул			
Гранулы ПЭТФ	1069,31	Высушенный ПЭТФ	1483
Регенерированный ПЭТФ	427,69	Потери (отходы), в том числе: пыль в атмосферу пыль и влага	0,2 13,8
Итого	1497		1497
3. Получение аморфной заготовки			
Высушенный ПЭТФ	1483	Аморфная заготовка	1453
Итого	1483	Потери: отходы при пусках потери при остановках	17,6 12,4
4. Профильная вытяжка			
Аморфная заготовка	1453	Ориентированная пленка	1433
Итого	1453	Потери: отходы при пусках потери при пусках и остановках	13,7 6,3
5. Поперечная вытяжка			
Ориентированная пленка	1453	Двухосновная ориентированная пленка	1369
Итого	1453	Потери: отходы при пусках и остановках потери при пусках и остановках	5 52
6. Намотка пленки			
Итого	1369	Рулоны пленки	1080
	1369	Потери: кромка и разорванная пленка	316
7. Продольная резка, контроль и упаковка			
Всего	1080	Рулоны упакованной пленки	1000
	1080	Потери: брак и обрезки обрыв пленки пленка на упаковку	37 4 39
			1080

Таблица 5

Сводная таблица материального баланса участка производства профильно-погонажных изделий из ПВХ

Изделие	Сырье полу- фабрикатов (ОСТ, ГОСТ)	Производительность						Расход- ные нормы на 1000 кг	Расход- ные коэффици- енты	Расход материала			Коэф- фициент исполь- зования мате- риала	Воз- врат ные отхо- ды, кг/ч
		часовая		суточная		годовая				кг/ч	кг/сут	т/год		
		м пог.	кг	м пог.	кг	м пог.	т							
1. Планка Соедини- тельная	Винипласт гра- нулированный СТП 6-05-021- 055-81	124,22	19,82	2981,3	476,8	1 млн	160	1088	1,088	21,62	518,97	174,08	1,017	1,41
2. Профиль мебельный тип МП98	То же	То же	57,14	То же	1371,4	То же	460	То же	То же	62,17	1492,1	500,5	То же	4,07
3. Профиль мебельный тип МП 63	>>	То же	47,20	То же	1132,9	То же	380	>>	>>	51,35	1232,6	413,44	>>	3,36
Всего		372,66	124,21	8944	298,1	3 млн	1000	1088	1,088	135,14	3243,7	1088	1,017	8,84

Выполнив расчеты $T_{эф}$ и материального баланса по стадиям процесса (см. табл. 4) на 1000 кг готовой продукции рассчитывают часовую и суточную производительность, и заполняют табл. 5 материального баланса.

Расчет энергетических затрат (электроэнергия, пар, вода, сжатый воздух) производят после выбора оборудования и теплового расчета основного оборудования.

Исходными данными для расчета потребления электроэнергии являются: общая установленная мощность нагревателей и электродвигателей, кВт, коэффициент загрузки электродвигателей $\eta_1 = 0,7 \dots 0,8$, коэффициент полезного действия электродвигателей $\eta_2 = 0,85$, эффективный фонд времени работы оборудования $T_{эф}$, ч (прил. 5).

Годовой расход электроэнергии $Q_{год}$, кВт/ч, определяют по формуле:

$$Q_{год} = \eta_1 T_{эф} N / \eta_2 . \quad (14)$$

Результаты сводят в табл. 6 расхода электроэнергии на технологические нужды.

Таблица 6

Энергозатраты проектируемого производства

Оборудование	Кол-во	Суммарная мощность, кВт		Эффективный фонд времени работы оборудования, ч	Годовой расход электроэнергии, кВт/ч
		Нагревателей	Электродвигателей		
Всего					

Определение расхода воды производят на основании результатов теплового расчета экструзионной линии и расходных норм, принятых на базовом предприятии (калькуляция базового предприятия). При этом следует различать расход производственной (технической) и оборотной воды.

Определение расхода сжатого воздуха для работы пневмотранспорта и на технологические нужды также осуществляют после соответствующих расчетов и сравнивают с нормами базового производства.

2.2. Расчет экструдеров

Расчет экструдеров может быть поверочным или проектным [1,2]. Цель поверочного расчета – исследование возможностей машины при переходе на переработку нового материала или изделия.

Цель проектного расчета – выбор основных параметров червяка, режима работы экструдера в зависимости от выбора среднего градиента скорости выбранного перерабатываемого материала и вида изделия. В процессе расчетов определяют следующие параметры: давление на входе в зону питания; давление на выходе из зоны питания, длину зоны питания, давление на выходе из зоны плавления $P_{пл}$, длину зоны плавления $L_{пл}$, давление на выходе из зоны дозирования P_i , температуру на выходе из зоны дозирования. При определении мощности привода рассчитывают производительность экструдера для построения рабочих характеристик червяка; рассчитывают гидравлическое сопротивление формующей головки, длины технологических зон, рабочие характеристики червяка, головки и их «рабочие точки».

При выполнении курсового или дипломного проекта выполняется проектный расчет экструдера, при этом предполагается, что все исходные сведения, такие как основные характеристики перерабатываемого материала, параметры технологического режима (прил. 2), основные характеристики экструдера собраны на базе практики и в справочной литературе [11, 13, 14] (табл. 7).

Таблица 7

Документ или технологический параметр	Назначение
Чертежи червяка (база практики)	Определение геометрических коэффициентов
Чертежи головки (оснастки) (база практики)	Определение коэффициента сопротивления и индекса разнотолщинности
Характеристика материала, реологические свойства в диапазоне градиентов скорости и температуры, охватывающие рабочий интервал [13, 14, 15]	Расчет характеристик червяка и головки. Определение диаметра червяка (по заданной объемной производительности и среднему градиенту скорости), вычисление глубины каналов на участке зоны дозирования и зоны питания

Документ или технологический параметр	Назначение
<p>Характеристика экструдированного изделия, профиль поперечного сечения (эскизы) (база практики)</p> <p>Допускаемые отклонения по размерам</p> <p>Зависимость плотности полимера от температуры и давления [9]</p> <p>Зависимость теплоемкости и коэффициента теплопроводности от температуры (прил. 1)</p> <p>Гранулометрический состав, насыпная плотность, коэффициенты внешнего трения и их зависимость от температуры и давления [13,14]</p> <p>Характеристика технологического режима: заданные скорость вращения червяка, температурный режим и производительность</p>	<p>Определение параметров червяка.</p> <p>Проверка на индекс разнотолщинности</p> <p>Расчет необходимой точности поддержания температур [1,14].</p> <p>Определение осевого усилия и мощности привода [6]</p> <p>Определение температуры разогрева</p> <p>Расчет производительности зоны питания</p> <p>Для установления режима экструзии рассчитывают зависимость объемной производительности экструдера от давления на выходе материала из канала червяка (при фиксированных частотах его вращения) и объемный расход материала через головку в зависимости от давления при разных температурах расплава [1, 6]</p>

Примеры расчетов различных типов экструзионного оборудования приведены в разделе 2.3. Расчет экструдера может проводиться методом масштабного моделирования, если известны параметры модельной машины, удовлетворительно перерабатывающие заданный вид материала в тот же вид изделия [6].

2.3. Примеры расчета технологических и конструктивных параметров типовых стадий экструзионных установок

Производительность экструзионной установки. Процесс изготовления изделий экструзией – это непрерывный процесс, включающий ряд обязательных вспомогательных операций, от которых зависит качество изделий.

Как и в любом непрерывном процессе, каждая последующая стадия может стать определяющей по отношению к общей производительности установки. Поэтому при разработке экструзионной линии для изготовления конкретного изделия необходимо учитывать те закономерности, которые определяют процесс на каждом отдельном участке, и выбирать оптимальные параметры для всех стадий при равной их производительности.

При определении общей производительности экструзионной установки за основу можно взять практическую производительность экструдера (кг/ч), которую предварительно можно определить по формуле

$$Q = 6 \cdot 10^{-2} k p_n m v n. \quad (2.1)$$

где k – коэффициент заполнения шнека; p_n – насыпная плотность, г/см³; m – число заходов червяка (обычно применяются однозаходные шнеки); v – объем спирального канала, см³; n – частота вращения шнека, с⁻¹. Коэффициент заполнения шнека определяется опытным путем для разных изделий и является показателем достигнутой интенсивности ведения процесса (табл. 8).

2.3.1. Грануляция [3]. При расчете грануляторов определяют коэффициент геометрической формы фильеры K . Значение K дает представление о давлении расплава в фильтре и его вязкости.

При резке гранул расплав может размазываться на решётке и прилипать к ножу. Для устранения этого дефекта частота вращения ножа должна быть достаточной, чтобы сила инерции преодолевала силу адгезии.

Таблица 8

Значение коэффициента заполнения шнека k в некоторых процессах

Изделие	Параметры процесса	Значение k
Труба гладкая из ПЭНП, диаметр 60/54 мм	Агрегат ЧПТ-125/20 $n = 50 \text{ мин}^{-1}$ $Q = 180 \text{ кг/ч}$	0,189
Труба гофрированная из ПЭНП, диаметр 60/56 мм	Агрегат ЧПТ-63/20 $n = 30 \text{ мин}^{-1}$ $Q = 50 \text{ кг/ч}$	0,27
Пленка из ПЭНП, толщина 60 мкм, ширина 1200 мм	Агрегат УРП-1500 $n = 70 \text{ мин}^{-1}$ $Q = 80 \text{ кг/ч}$	0,16
	Агрегат УРП-1500 $n = 54 \text{ мин}^{-1}$ $Q = 65 \text{ кг/ч}$	0,18
	Агрегат UWG-90 $n = 30 \text{ мин}^{-1}$ $Q = 40 \text{ кг/ч}$	0,202
Плѐнка из ПЭНП, толщина 80 мкм, ширина 1400 мм	Агрегат УРП-1500 $n = 66 \text{ мин}^{-1}$ $Q = 80 \text{ кг/ч}$	0,18
Плѐнка из ПЭНП, толщина 120 мкм, ширина 1300 мм	Агрегат УРП-1500 $n = 58 \text{ мин}^{-1}$ $Q = 82,5 \text{ кг/ч}$	0,20
Сетка из ПЭНП	Агрегат UWG-90 $n = 10 - 20 \text{ мин}^{-1}$ $Q = 54 \text{ кг/ч}$	0,44

Длина гранул $L_{гр}$ (см), образующихся при гранулировании:

$L_{гр} = uT$, где u – скорость экструзии, м/с;

$$u = \frac{4V_0}{\pi d_p^2} \quad (2.2),$$

$$\text{или } u = \frac{4Q_B}{60\pi d_p^2 \rho z}, \quad (2.3)$$

где d_p – диаметр отверстия в решетке, м; V_0 – объемный расход расплава через одно отверстие гранулирующей решетки, м³/с;

$$V_0 = V/z, \quad (2.4)$$

где V – объемная производительность экструдера, м³/с, Q_v – массовая производительность экструдера, кг/мин; z – число отверстий в решетке; ρ – плотность материала при температуре расплава, кг/м³; T – период резания гранул, с;

$$T = \frac{60}{K_H n}, \quad (2.5)$$

где K_H – число ножей; n – частота вращения ножей, мин⁻¹;

$$n = \frac{u}{K_H L_{гр}}. \quad (2.6)$$

Если полимер имеет высокий ПТР, сила адгезии расплава к ножу возрастает. Необходимо подбирать для каждой пластмассы оптимальный угол заточки ножа и зазор между ножом и решеткой гранулятора, который колеблется в пределах 15 – 50 мкм.

Частота вращения режущих ножей также зависит от свойств перерабатываемого материала, однако рекомендуется принимать не более 1500 мин⁻¹ во избежание быстрого износа ножей и фильеры (5 – 23 м/с).

Скорость ножа U_H (м/с) в средней части режущей головки:

$$U_H = \pi R n / 30, \quad (2.7)$$

где R – радиус держателя ножа или расстояние от оси вращения ножа до точки резания, м.

Если производительность экструзионной машины отличается от расчетной, то частоту вращения ножей регулируют так, чтобы сохранить постоянную величину гранул:

$$n' = n \frac{Q'}{Q}, \quad (2.8)$$

где n' – новая частота вращения при производительности Q' ; Q' – новая производительность экструдера.

Необходимая мощность привода N (кВт) для гранулирующих ножен при горячей и холодной резке приближенно может быть определена по формуле:

$$N = \frac{Pu_H}{10^3 \eta}, \quad (2.9)$$

где P – усилие резания, Н,

$$P = 0,785k_1z_1d_p^2, \quad (2.10)$$

где z_1 – минимальное число отверстий, попадающих в один рез ножа; $\eta = 0,7 - 0,8$ коэффициент полезного действия передачи привода; k_1 – коэффициент, учитывающий сопротивление материала (определяется эмпирически; в зависимости от перерабатываемого материала и режимов переработки $k_1 = 70 - 100$ Н/см²).

При гранулировании предварительно охлажденных прутков необходимо применять тянущие валки для передачи их к режущему устройству. Причем надо обеспечить одинаковую линейную скорость ($u_{пр}$) движения прутков (м/с) и окружную скорость (u_B) вращения валков (м/с), считая, что проскальзывание прутков в валках исключено ($u_{пр} = u_B$):

$$u_{пр} = \frac{4Q_B}{60z_{пр}\rho\pi d_{пр}^2}; \quad (2.11)$$

$$u_B = \frac{\pi D_B n_B}{60}. \quad (2.12)$$

где Q_B – массовая производительность экструдера, кг/мин; $z_{пр}$ – число прутков, которые выдавливаются через формующую решетку; ρ – плотность материала при температуре экструзии, кг/м³; $d_{пр}$ – диаметр прутков, м; D_B – диаметр тянущих валков, м; n_B – частота вращения валков, мин⁻¹,

$$n_B = \frac{4Q_B}{z_{пр}\rho\pi d_{пр}^2 D_B}. \quad (2.13)$$

Мощность привода N_{Φ} (кВт) при гранулировании охлаждаемых прутков: где $P'_{рез}$ – усилие резания, Н,

$$N_{\Phi} = \frac{P'_{рез}u_{\Phi}}{1000\eta}, \quad (2.14)$$

$$P'_{рез} = K_{рез} F_{рез}; \quad (2.15)$$

где $F_{рез}$ – площадь резания жгутов, расположенных плотно один к другому фрезой, $см^2$,

$$F_{рез} = 0,785 d_{пр}^2 \operatorname{tg}(90 - \alpha_{ф}), \quad (2.16)$$

где $K_{рез}$ – удельное сопротивление пластмассы резанию, МПа, $\alpha_{ф} = 0 - 7^\circ$ – угол наклона зубьев фрезы; $n_{ф}$ – частота вращения фрезы, $с^{-1}$.

Берем $K_{рез}$ численно равным $\tau_{в}$ – прочности пластмассы при срезе. Для ПЭНП $\tau_{в} = 14 - 17$; ПЭВП $\tau_{в} = 20 - 36$; композиций на основе ПВХ $\tau_{в} = 42$; ПП $\tau_{в} = 17 - 18$ МПа.

$$n_{ф} = \frac{u_{пр}}{L_{гр} z_{ф}}, \quad (2.17)$$

где $L_{гр}$ – длина гранулы, м; $z_{ф}$ – число зубьев фрезы;

$$z_{ф} = m \sqrt{D_{ф}}; \quad (2.18)$$

$u_{ф}$ – линейная скорость вращения фрезы, мм/с;

$$u_{ф} = \pi D_{ф} n_{ф}, \quad (2.19)$$

где $D_{ф}$ – диаметр фрезы, мм; m – коэффициент, зависящий от условий работы и конструкции фрезы (при $\alpha_{ф}$ до 30° $m = 1,05$).

Пример 1. Рассчитать мощность привода при гранулировании охлаждаемых прутков. Дано: $Q_{в} = 100$ кг/ч; $z_{пр} = 20$; $\rho = 800$ кг/м³; $d_{пр} = 3$ мм, $D_{в} = 120$ мм; $K_{рез} = 15$ МПа; $z_{ф} = 12$; $D_{ф} = 120$ мм.

Решение. $P'_{рез} = 1500 \cdot 785 \cdot 0,3^2 \operatorname{tg}(90 - 5) = 1210$ Н;

$$u_{пр} = \frac{4 \cdot 1,67}{60 \cdot 20 \cdot 800 \cdot 3,14 \cdot (3 \cdot 10^{-3})^2} = 0,246 \text{ м/с};$$

$$n_{ф} = \frac{0,246}{3 \cdot 10^3 \cdot 12} = 6,83 \text{ с}^{-1};$$

$$u_{ф} = 3,14 \cdot 0,12 \cdot 6,83 = 2,57 \text{ м/с}; \quad N_{ф} = \frac{1210 \cdot 2,57}{1000 \cdot 0,8} = 3,88 \text{ кВт}.$$

Технические характеристики экструзионных агрегатов для гранулирования пластмасс даны в табл. 9 (прил. 6).

2.3.2. Изоляция проводов и кабелей. Нанесение полимерного покрытия на электропроводники осуществляется в Т-образной головке, где расплав встречается с проходящим через головку проводом.

Линейные скорости наложения изоляции постоянно растут и в зависимости от диаметра провода и толщины изоляции могут составлять от 2000 м/мин до 10 м/мин.

Расход полимерного материала на один метр изоляции G (кг/м) можно определить по формуле

$$G = \pi K_1 K_2 n (d + \delta_H) \delta_H \rho, \quad (2.20)$$

где n – число жил в кабеле; $K_1 = 1,055$ – коэффициент, учитывающий укрутку жил; K_2 – коэффициент, учитывающий конструкцию жил (для однопроволочных конструкций $K_2 = 1,11$; для многопроволочных сечением до 10 мм^2 $K_2 = 1,17$; выше 16 мм^2 $K_2 = 1,22$); d – диаметр провода, м; δ_H – толщина изоляции, м.

Производительность кабельного агрегата V ($\text{м}^3/\text{мин}$):

$$V = 2\pi u_0 (r + \delta/2) \delta, \quad (2.21)$$

где u_0 – скорость отвода провода, м/мин; r – радиус провода, м.

Количество расплава, которое захватывается движущимся через головку проводом, может быть также рассчитано в зависимости от скорости движения провода, вязкости расплава и давления в головке.

Общий объемный расход расплава V на покрытие проводника является суммой объемных расходов, осуществляемых под действием давления расплава в головке V_p и скорости движения V_d :

$$V = V_p + V_d; \quad V_p = K P_\Gamma / \eta; \quad (2.22)$$

$$K = \pi (R_\Phi + R_c) (R_\Phi - R_c)^3 / (12L). \quad (2.23)$$

где R_Φ – радиус фильеры; R_c – радиус провода; L – длина формующей части фильеры.

$$V = \frac{[\pi U R_c^2 (1-n) \beta^{3-n} - (3-n) \beta^{1-n} + 2]}{[(3-n)(\beta^{1-n} - 1)]}; \quad (2.24)$$

где U – скорость движения провода (скорость протяжки); n – показатель степени в степенном законе течения (берется для соответствующего полимера [13]). Формулу (2.24) можно использовать и $n \neq 1$ и $n \neq 3$.

$$\beta = R_\Phi / R_c.$$

Толщина слоя покрытия обычно регулируется изменением давления в головке.

Пример 2. Рассчитать производительность экструзионного кабельного агрегата и расход полимерного сырья на один метр изоляции однопроволочного провода $d = 1,4$ мм; $\delta = 0,4$ мм; $U = 300$ м/мин.

Решение. Расчет ведем по формулам (2.20), (2.21):

$$G = 3,14 \cdot 1,055 \cdot 1,11 \cdot (1,4 \cdot 10^{-3} + 0,4 \cdot 10^{-3}) \cdot 800 \cdot 0,4 \cdot 10^{-3} = 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м};$$

$$V = 2 \cdot 3,14 \cdot 300 (0,7 \cdot 10^{-3} + 0,2 \cdot 10^{-3}) \cdot 0,4 \cdot 10^{-3} = 0,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{мин};$$

$$Q_B = 0,6 \cdot 10^{-3} \cdot 800 = 0,48 \text{ кг/мин} = 28,8 \text{ кг/ч}.$$

2.3.3. Производство пленок и листов. Степень продольной вытяжки пленки:

$$i_{\Pi} = U_{\Pi} / U_{\text{э}}, \quad (2.25)$$

где U_{Π} – скорость приема пленки, м/мин; $U_{\text{э}}$ – скорость экструзии из кольцевого зазора, м/мин:

$$U_{\text{э}} = \frac{Q}{60\pi D_{\text{д}} \delta_{\text{к}} \rho_{\text{р}}}; \quad (2.26)$$

где Q – производительность экструдера, кг/ч; $D_{\text{д}}$ – диаметр дорна, м; $\delta_{\text{к}}$ – ширина кольцевого зазора, м; $\rho_{\text{р}}$ – плотность расплава при температуре выдавливания, кг/м³.

Обычно толщина пленки доводится до номинального значения изменением частоты вращения шнека или изменением скорости приема пленочного полотна:

$$i_{\text{р}} = \frac{D_{\text{р}}}{D_{\text{ср}}} 100\%, \quad (2.27)$$

где $i_{\text{р}}$ – степень раздува пленочного рукава в поперечном направлении, %; $D_{\text{р}}$ – диаметр раздутого рукава; $D_{\text{ср}}$ – средний диаметр формирующего кольцевого зазора головки.

Обычно стараются вести процесс так, чтобы $i_{\Pi} \approx i_{\text{р}}$, тогда пленка имеет почти одинаковые свойства в продольном и поперечном направлениях.

Для проверки можно применять формулу

$$\delta_k = i_p i_{\Pi} \delta, \quad (2.28)$$

где δ – толщина изготавливаемой пленки, м.

Производительность агрегата Q , кг/ч:

$$Q = 6 \cdot 10^{-2} U_{\Pi} b \delta \rho, \quad (2.29)$$

где b – ширина пленки, м.

При изготовлении рукавных пленок из ПЭНП, ПЭВП, ПВХ, к которым не предъявляются высокие требования в отношении оптических свойств, получают пленки толщиной 0,01–0,02 мм и шириной до 12 м при скорости приема (U_{Π}) до 120 м/мин.

Плоские пленки получают толщиной 0,015 – 0,2 мм и шириной до 3000 мм (обычно около 1000 мм). Скорость приема в среднем около 60 м/мин.

Листы изготавливают толщиной 0,25–20 мм и шириной 2000–3500 мм. Скорость отвода листов зависит от типа перерабатываемого материала и толщины листа. Для листов ПЭНП толщиной $\delta < 1$ мм максимальная скорость отвода $U_{\Pi} \leq 2$ м/мин, при $\delta = 3$ мм $U_{\Pi} = 0,6$ м/мин, при $\delta = 6$ мм $U_{\Pi} = 0,12$ м/мин.

Технические характеристики оборудования для производства полиэтиленовых пленок и листов из термопластов даны в прил. 6.

2.3.4. Производство экструзионно-выдувных (полых) изделий.

Обычно процесс осуществляют в две стадии: вначале выдавливают горячую высокоэластичную трубчатую заготовку, а затем помещают ее в форму, где после раздува сжатым воздухом она охлаждается и принимает конфигурацию готового изделия.

По способу формования заготовки экструзионно-выдувные агрегаты (ЭВА) подразделяют на установки с непрерывной экструзией заготовки, установки с осевым перемещением червяка и периодической экструзией заготовки и установки с копильником и периодической экструзией заготовки. Последний тип ЭВА применяют обычно для изготовления изделий большой емкости: 40 – 50 л (прил. 6, табл. 7).

Современные типы ЭВА оснащают интегральными микропроцессорными системами управления, позволяющими также регулировать и

поддерживать заданные программой длину заготовки и толщину стенок в соответствии с конфигурацией изделия, что существенно снижает расход полимерного материала.

Для расчета производительности ЭВА необходимо знать размеры заготовки (l_3 и δ_3):

$$l_3 = 1,15l_{\text{И}}, \quad (2.30)$$

где $l_{\text{И}}$ – длина изделия. Длину заготовки берут на 15 % больше длины изделия для того, чтобы можно было оформить днище изделия:

$$D_{\text{Н}} = D_{\text{И}}/\varepsilon_{\text{р}}, \quad (2.31)$$

где $D_{\text{Н}}$ – наружный диаметр заготовки; $\varepsilon_{\text{р}}$ – коэффициент раздува, обуславливающий степень тангенциальной ориентации.

Значение $\varepsilon_{\text{р}}$ может изменяться от 1,5 до 5. Увеличение коэффициента $\varepsilon_{\text{р}}$ приводит к повышению прочности изделия, но несколько снижает производительность ЭВА за счет возрастания продолжительности раздува.

Толщину заготовки определяют с учетом постоянства массы изделия и заготовки:

$$\delta_3 = \frac{\left[D_{\text{И}} - (D_{\text{И}}^2 - 4\varepsilon_{\text{р}}^2 D_{\text{И}} \delta_{\text{И}} + 4\varepsilon_{\text{р}}^2 \delta_{\text{И}}^2)^{1/2} \right]}{(1,72\varepsilon_{\text{р}})}. \quad (2.32)$$

Оптимальная скорость выдавливания, исключая опасность утонения заготовки под действием собственного веса:

$$V_3 = 1,6\rho_{\text{р}}l_3^2/\eta_{\text{Н}}, \quad (2.33)$$

где $\rho_{\text{р}}$ – плотность расплава, значение $\rho_{\text{р}}$ определяется по рис. 1, прил. 1; $\eta_{\text{Н}}$ – наибольшая (ньютоновская) вязкость расплава, независящая от скорости сдвига; для ПЭНП $\eta_{\text{Н}} = 1,1 \cdot 10^4$ Па · с.

Объемный расход расплава можно определить из уравнения

$$Q = \pi\delta_3(D_{\text{Н}} - \delta_3)V_3. \quad (2.34)$$

Для расчета размеров матрицы и дорна формирующей головки необходимо учитывать высокоэластическое восстановление струи расплава, благодаря которому наружный диаметр заготовки становится большим, чем внутренний диаметр матрицы. Изменения внутреннего и наружного диаметров заготовки вследствие высокоэластического разбухания практически одинаковы и с увеличением средней скорости сдвига возрастают до некоторого предельного значения. Коэффициент высокоэластического восстановления (ВЭВ) α_0 определяют по рис. 7. Наружный диаметр дорна можно рассчитать по формуле

$$D_{\text{д}} = (D_{\text{н}} - 2\delta_3) / \alpha_0. \quad (2.35)$$

Внутренний диаметр матрицы будет равен

$$D_{\text{м}} = D_{\text{н}} / \alpha_0. \quad (2.36)$$

Длина кольцевого формирующего канала должна примерно составлять

$$L_{\text{к}} = 10(D_{\text{м}} - D_{\text{д}}). \quad (2.37)$$

Время цикла формования изделия определяют из формулы

$$\tau_{\text{ц}} = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5, \quad (2.38)$$

$$\tau_1 = l_3 / V_3, \quad (2.39)$$

Рис. 7. Зависимость коэффициента эластического восстановления от отношения диаметров кольцевого канала: 1 – полипропилен, 2 – ПЭНП, 3 – ПЭВП

где τ_1 – время экструзии заготовки (τ_1 не должно превышать 15 с, чтобы исключить чрезмерное охлаждение заготовки окружающим воздухом); τ_2 – время смыкания формы; τ_3 – время раздува заготовки; τ_4 – время охлаждения; τ_5 – время раскрытия формы и удаления готового изделия.

Время раздува τ_3 рассчитывают по формулам:

$$\tau_3 = WK_{\text{T}} / C \quad (2.40)$$

$$\text{или } \tau_3 = W[1 - (P_2 - P_1) / P_1] / C, \quad (2.41)$$

где W – объем внутренней полости изделия; $K_{\text{T}} = T_1 / T_2 = 0,25 \dots 7$ – коэффициент, учитывающий изменение удельного объема воздуха, вызванное изменением температуры и давления; T_1 – температура воздуха перед дутьевым соплом; T_2 – температура воздуха в конце цикла раздува в по-

лости изделия, C – объемный расход воздуха, нагнетаемого в заготовку (табл. 9); P_1 – давление сжатого воздуха при температуре T_1 ; P_2 – давление сжатого воздуха при повышенной температуре T_2 (см. табл. 9).

Оптимальное давление раздува 0,4 – 1,0 МПа. Время охлаждения

$$\tau_4 = 4\delta_{\text{И}}^2 \ln[(T_3 - T_{\Phi}) / (T_{\text{И}} - T_{\Phi})] / \pi^2 a. \quad (2.42)$$

Необходимо помнить, что время охлаждения, рассчитанное по формуле (2.42), меньше реального на 15 – 25 %, поэтому

$$\tau_p = \tau_4 + (0,15 \dots 0,25)\tau_4 = (1,15 \dots 1,25)\tau_4. \quad (2.43)$$

Таблица 9

Скорость прохождения сжатого воздуха в зависимости от диаметра сопла и давления

Давление перед соплом, МПа	Скорость воздуха, см ³ /с, при диаметре сопла, см				Давление перед соплом, МПа	Скорость воздуха, см ³ /с, при диаметре сопла, см			
	0,4	0,8	1,6	3,2		0,4	0,8	1,6	3,2
0,0071	0,79	3,17	12,5	50,9	0,250	4,98	19,9	79,6	319
0,0143	1,13	4,48	17,4	71,7	0,286	5,5	21,9	87,7	351
0,0214	1,36	5,49	21,6	87,8	0,321	5,97	23,8	95,6	382
0,0286	1,58	6,31	24,8	101,0	0,357	6,5	25,8	103,7	416
0,0357	1,75	7,02	27,6	112,2	0,429	7,46	30	119,2	408
0,0429	1,93	7,7	30,8	122,7	0,50	8,5	33,9	135,5	543
0,050	2,07	8,3	33,1	132,4	0,57	9,49	37,9	151,6	605
0,0643	2,35	9,4	37,4	150	0,64	10,47	42,8	168,2	671
0,0857	2,69	10,7	43	171,6	0,71	11,5	45,8	183,6	736
0,107	2,98	11,9	47,5	190,5	0,786	12,52	49,8	199,8	862
0,143	3,48	13,9	55,2	222	0,857	13,5	54,1	216	895
0,178	3,97	16,0	63,6	254	0,893	14,0	56,0	224	961
0,214	4,48	18,0	71,5	286					

Экструзионная машина готовит расплав полимерного материала (пластицирует и гомогенизирует) в продолжении всего времени цикла, за исключением времени выдавливания заготовки:

$$\tau_{\text{ц}} = \tau_{\text{ц}} - \tau_1, \quad (2.44)$$

поэтому объемная производительность экструдера будет равна

$$V_0 = v_3 / \tau_3, \quad (2.45)$$

а массовая

$$Q_v = V_0 \rho_p.$$

При выборе типоразмера агрегата для изготовления конкретных изделий необходимо, чтобы его производительность удовлетворяла соотношению

$$Q \geq v_3 n / \tau_3, \quad (2.46)$$

где v_3 – объем заготовки; n – число формующих каналов (ручьев) в головке.

При производстве изделий до 0,5 л головки ЭВА не имеют копильника и экструдер работает в непрерывном режиме. Поэтому агрегаты для малых изделий выполняют многопозиционными.

Время выстоя стола (или ротора) с формами до поворота

$$\tau_3 = \tau_1 + \tau_2. \quad (2.47)$$

Охлаждение изделия в форме осуществляется непрерывно:

$$\tau_{\text{охл}} = n_1 (\tau_{\text{п}} + \tau_3) + \tau_{\text{п}}, \quad (2.48)$$

где $\tau_{\text{п}}$ – время поворота стола; n_1 – число промежуточных позиций, при этом формы закрыты и в них происходит охлаждение изделия:

$$n_1 = (\tau_{\text{охл}} - \tau_{\text{п}}) / (\tau_{\text{п}} + \tau_1 + \tau_2). \quad (2.49)$$

Общее число позиций $n = n_1 + n_2$, где $n_2 = 2 \dots 3$ – число позиций, на которых выполняются машинные операции (помещение заготовки в форму и смыкание ее, раздув заготовки в форме, раскрытие формы и извлечение из нее готового изделия).

Штучная производительность многопозиционных машин определяется по формуле

$$Q_{\text{шт}} = 1 / (\tau_{\text{в}} + \tau_{\text{п}}). \quad (2.50)$$

Для изделий средней и большой емкости ЭВА имеют копильники, которые усложняют конструкцию агрегата и управление им. Для изготовления таких изделий применяют одно- и двухпозиционные агрегаты с перемещающимися узлами смыкания:

$$n = \tau_{\text{п}} / (\tau_1 + \tau_3). \quad (2.51)$$

Штучная производительность ЭВА: $Q_{\text{шт}} = n / \tau_{\text{п}}$.

2.3.5. Пример. Расчет экструдера для производства профилей из жесткого ПВХ. Согласно ассортименту продукции, представленному в сводной таблице материального баланса (см. табл. 5), для выполнения годовой программы каждого изделия рассчитываем количество экструдеров с учетом $T_{эф}$ и производим проектный расчет экструдеров. При расчете экструдера используем параметры модельной типовой машины, которая удовлетворительно перерабатывает на базовом предприятии данный вид сырья в тот же ассортимент продукции. Расчет ведется согласно методике, приведенной в [6], в два этапа для определения геометрических характеристик червяка, производительности червячной машины в диапазоне числа оборотов шнека, мощности привода, строится внешняя характеристика червячной машины. Все три профиля из жесткого ПВХ имеют в разрезе конфигурацию в форме буквы **н**, при этом длина каждого прямоугольника одинаковая (например для мебельного профиля МП 98 при толщине 3 мм она равна 98 мм, планки соединительной при толщине 2 мм она равна 20 мм), изготавливаются на экструдерах типа ЧП 63×20 (табл. 10).

Таблица 10

Характеристика экструдера ЧП 63×20

Характеристика	Величина характеристики
Диаметр шнека, мм	63
Длина шнека, мм	1260
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	25
Производительность, кг/ч	35
Линейная скорость выхода изделия, м/мин	10...100
Частота вращения шнека, мин ⁻¹	(0,16...1,6)

Экструдер ЧП 63×20 имеет зоны обогрева:

I – III – зоны цилиндра;

IV – VII – зоны одноструйной формующей головки.

Зоны цилиндра и зоны головки обогреваются с помощью электронагревателей. Перед началом работы экструдера включают электронагреватели по зонам и производится нагрев экструдера до температур, указанных в табл. 11.

Таблица 11

Распределение температур по зонам

Зона	I	II	III	IV	V	VI	VII
Температура, °С	150 ± 20	100 ± 20	170 ± 20	170 ± 20	170 ± 20	180 ± 20	180 ± 20

Согласно расчету по данным базового предприятия эффективный фонд времени работы $T_{эф}$ для ЧП 63×23 составляет 8050 часов.

Определяем N_3 – количество основного оборудования (экструдеров), необходимого для выполнения годового плана производства планки соединительной (см. табл. 5):

$$N_3 = \frac{160000 \cdot 1,088}{35 \cdot 8050} = 0,62.$$

Устанавливаем один экструдер типа ЧП 63×20.

2.3.5.1. Выбор типа червяка и расчет его геометрических характеристик.

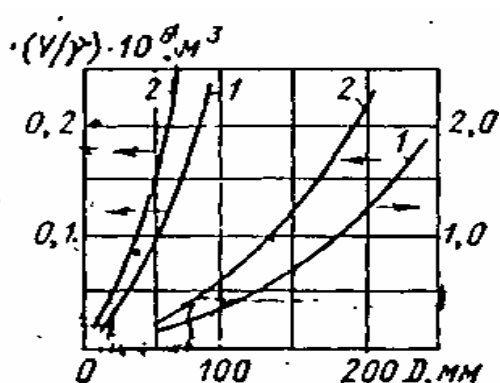


Рис. 8. Номограмма для предварительного определения диаметра червяка: 1 – тихоходные червяки; 2 – быстроходные червяки

Проектный расчет червячного пресса ведется в два этапа. Главная цель первого этапа – выбор геометрических параметров червяка и диапазона частоты его вращения в соответствии с заданной производительностью [6].

Для переработки жесткого ПВХ (винипласта) задаемся значением среднего градиента скорости сдвига $\gamma = 30 \text{ с}^{-1}$ (рис. 8).

Определяем значение параметра $\frac{V}{\gamma} = \frac{G}{3600\rho_T\gamma}$,

где G – производительность экструдера, кг/ч;

ρ_T – плотность материала жесткого ПВХ, кг/м³.

$$\frac{V}{\gamma} = \frac{35}{3600 \cdot 1550 \cdot 30} = 0,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

По рассчитанному значению v/γ из номограммы (см. рис. 8) определяем ориентировочный диаметр червяка для быстроходной машины $D = 60$ мм. Окончательно принимаем ближайшее стандартное значение диаметра $D = 63$ мм.

Глубину нарезки червяка в зоне дозирования найдем по формуле

$$h_3 = 1,82 \left(\frac{V}{\gamma D} \right)^{0,5},$$

где V – объемная производительность, м³/с;

$$h_3 = \left(\frac{0,2 \cdot 10^{-6}}{0,063} \right)^{0,5} \cdot 1,82 = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}.$$

Число оборотов шнека найдем по формуле $n = \gamma h_3 / \pi D$;

$$n = \frac{30 \cdot 3,5 \cdot 10^{-3}}{3,14 \cdot 0,063} = 0,53 \text{ с}^{-1}.$$

По рассчитанным значениям D и n из табл. 2, прил. 1 выбираем модель машины ЧП 63×20, имеющую следующие технические характеристики: $D = 63$ мм, $L/D = 20$; $n_{\max} = 1,25 \text{ с}^{-1}$; $N_9 = 25$ кВт.

Согласно табл. 3, прил. 1 принимаем тип червяка 3Б с отношением $h_1/h_2 = 2,7$. При этом глубина нарезки в зоне загрузки будет $h = 3,2 \cdot 2,7 = 8,64$ мм.

$$L_{06} = 22,5D = 22,5 \cdot 63 = 1417,5 \text{ мм};$$

$$L_2 = 5D = 5 \cdot 63 = 315 \text{ мм};$$

$$L_3 = 6D = 6 \cdot 63 = 378 \text{ мм}; L = 20 D; = 20 \cdot 63 = 1260$$

$$L_1 = L - (L_2 + L_3) = 1260 - (315 + 378) = 567 \text{ мм};$$

$$t = D = 63 \text{ мм}; l = 0,1D = 0,1 \cdot 63 = 6,3; i = 1.$$

Шаг нарезки принимаем постоянным $t = D$; ширину гребня витка $e = 0,1D$; число заходов нарезки $i = 1$. Ширина гребня витка равна $e = 0,1$; число заходов нарезки $i = 1$.

При принятых параметрах червяка угол подъема нарезки витка

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{t}{\pi D} = \operatorname{arctg} \frac{63}{3,14 \cdot 63} = 17^{\circ}40'.$$

Ширина витка канала по нормали

$$b = \frac{(t - ie) \cos \varphi}{i}; \quad b = \frac{(63 - 6,3) \cos 17^{\circ}40'}{1} = 54,03 \text{ мм.}$$

Радиальный зазор между гребнем червяка и цилиндром принимаем $\delta = 0,20$ мм. Согласно табл. 11 назначаем следующий температурный режим переработки винипласта, °С: температура расплава на выходе из зоны дозирования $t = 160$, температура в формующей головке $t_{\Gamma} = 160$, температура загружаемых гранул $t_1 = 20$, температура цилиндра в зоне загрузки $t_{ц1} = 60$, температура цилиндра в зоне плавления $t_{ц2} = 140$ °С.

2.3.5.2. Расчет гидравлического сопротивления головки. При определении общего сопротивления головки, учитывая сложную конфигурацию ее рабочей части, используют способ замены реальных каналов моделями, имеющими простейшую конфигурацию, поддающуюся аналитическому описанию.

При таком подходе общее сопротивление формующей головки [6].

$$\Delta p_{\Gamma} = \sum_{i=1}^n \Delta p_i.$$

Полагая движение материала в головке ламинарным, принимают

$$\Delta p_i = \mu_3 V / K_i,$$

где μ_3 – эффективная вязкость расплава при градиенте скорости γ_i в данном канале, Па·с; V – расход расплава через рассматриваемую модель канала, м³/с; K_i – коэффициент геометрической формы модели канала, м³.

Для каналов произвольного постоянного сечения:

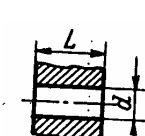
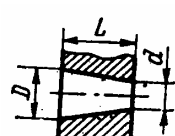
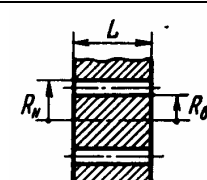
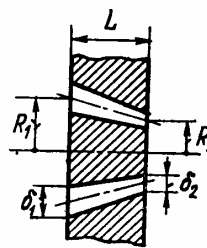
$$K = f^3 / (2\Pi^2); \quad \gamma = 2\Pi / f^2,$$

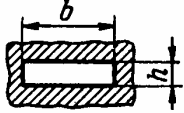
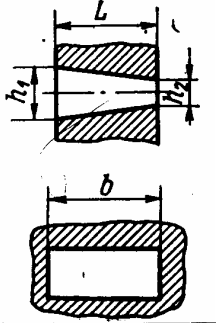
где f – площадь сечения канала, m^2 ; l – длина канала, m ; Π – смоченный периметр канала, m (эскиз профиля).

Расчетные выражения K и γ для наиболее распространенных каналов простой конфигурации приведены в табл. 12.

Таблица 12

Коэффициенты геометрической формы каналов K
и градиенты скоростей сдвига γ

Вид канала	Расчетная схема канала	K_i, m^3	γ, c^{-1}
Круглый цилиндрический		$K_{ц} = \frac{\pi d^4}{128l}$	$\gamma_{ц} = \frac{32V}{\pi d^3}$
Круглый конический		$K_{к} = \frac{3\pi D^3 d^3}{128l(D^2 + Dd + d^2)}$	$\gamma_{к} = \frac{256V}{\pi(D-d)^2}$
Круглый кольцевой		$K_{кол} = \pi(R_{н} + R_{в}) \times \frac{(R_{н} + R_{в})}{12l}$	$\gamma_{кол} = \frac{5,58V}{\pi(R_{н} + R_{в}) \times (R_{н} + R_{в})^2}$
Конический кольцевой		$K_{кк} = \frac{\pi(R_1\delta_2 - R_2\delta_1)}{6lM};$ $M = \frac{(R_1 - R_2)^2}{(R_1\delta_2 - R_2\delta_1)^2} \times \ln \frac{R_2\delta_1}{R_1\delta_2} - \frac{(R_1 - R_2)(\delta_1 - \delta_2)}{(R_1\delta_2 - R_2\delta_1)\delta_1\delta_2} - \frac{\delta_1^2 - \delta_2^2}{2\delta_1^2\delta_2^2}$	$\gamma_{кк} = \frac{22,3V}{\pi(R_1 + R_2)} \times \frac{1}{(\delta_1 + \delta_2)^2}$

Вид канала	Расчетная схема канала	$K_i, \text{м}^3$	$\gamma, \text{с}^{-1}$
Щелевой прямоугольный		$K_{\text{щ}} = \frac{b^2 h^3}{8l(b+h)}$	$\gamma_{\text{щ}} = \frac{5,58V}{bh^2}$
Щелевой клиновидный		$K_{\text{щк}} = \frac{bh_1^2 h_2^2}{6l(h_1 + h_2)}$	$\gamma_{\text{щк}} = \frac{11,16V}{6(h_1 + h_2)^2}$

При расчете каналов сложной конфигурации и переменного сечения применен метод ступенчатой аппроксимации реального канала серией ступеней простейшей формы, длина которых выбирается таким образом, чтобы площади сечения соседних ступеней отличались друг от друга не более, чем на 10 % [6].

При приближенной оценке гидравлического сопротивления формующей головки можно ограничиться учетом участков с наибольшими сопротивлениями. Такими участками являются, например, дроссельная решетка, формующий канал. При формовании этого профиля форма каналов – прямоугольник щелевой. Для расчета сопротивления канал головки разбиваем на отдельные мелкие участки. Коэффициент геометрической формы K и градиент скорости γ для прямоугольных каналов 0 – 1; 1 – 2; 3 – 4; 4 – 5 при объемной производительности $V_1 = 0,63 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ рассчитываем по формуле, приведенной в табл. 12. Для участка 0 – 1 соответственно $b = 5,5 \cdot 10^{-3}$; $h = 3 \cdot 10^{-3}$; $l = 80 \cdot 10^{-3}$ – величина радиального зазора между цилиндром и червяком, м.

Расчет сопротивления головки проводим при трех значениях производительности $G_1 = 35$ кг/ч; $G_2 = 30$ кг/ч; $G_3 = 20$ кг/ч. При этом объемная производительность по расплаву винипласта при температуре 160 °С и $\rho = 1540$ кг/м³ (см. рис. 1, прил. 1):

$$V_1 = \frac{G_1}{3600\rho}; \quad V = \frac{35}{3600 \cdot 1540} = 0,63 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Соответственно для $G_2 = 30$ кг/ч имеем $V_2 = 0,54 \cdot 10^{-5}$ м³/с; для $G_3 = 20$ кг/ч, $V_3 = 0,36 \cdot 10^{-5}$ м³/с.

Коэффициент геометрической формы K и градиент скорости γ плоскощелевого канала $0 - 1$ рассчитываем по формуле, приведенной в табл. 12.

При $V_1 = 0,63 \cdot 10^{-5}$ м³/с

- для участка $0 - 1$:

$$K_{\text{щ}} = \frac{b^2 h^3}{l(b+h)}; \quad \gamma = \frac{5,85V}{bh^2};$$

$$K_{\text{щ}} = \frac{(5,5 \cdot 10^{-3})(3 \cdot 10^{-3})}{80 \cdot 10^{-3}(5,5 \cdot 10^{-3} + 3 \cdot 10^{-3})} = 5,9 \cdot 10^{-4} \text{ м};$$

$$\gamma = \frac{5,85 \cdot 0,63 \cdot 10^{-5}}{5,5 \cdot 10^{-3}(3 \cdot 10^{-3})^2} = 0,74 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}.$$

μ_1 и m находим по табл. 13. Эффективная вязкость расплава в головке порядка 10100 Па·с при температуре 160 °С (рис. 9). Потери давления на участке $0 - 1$ при расходе V_1 рассчитываем по формуле

$$\Delta p = \mu_3 V / k_i; \quad \mu_3 = \mu_1 (\gamma)^{m-1},$$

где V – расход расплава через рассматриваемую модель канала, м³/с; эффективная вязкость расплава при градиенте скорости $V = 0,74 \cdot 10^3$ с⁻¹; k_i – коэффициент геометрической формы канала, м³.

$$\mu_3 = 10100(740)^{0,4-1} = 2994,05 \text{ Па·с},$$

$$\Delta p = \frac{2694,05 \cdot 0,65 \cdot 10^{-5}}{2,45 \cdot 10^{-9}} = 7147346,9 \text{ Па},$$

$$\Delta p_1 = 5 \cdot 7147346,9 \text{ Па} = 35736734 \text{ Па}.$$

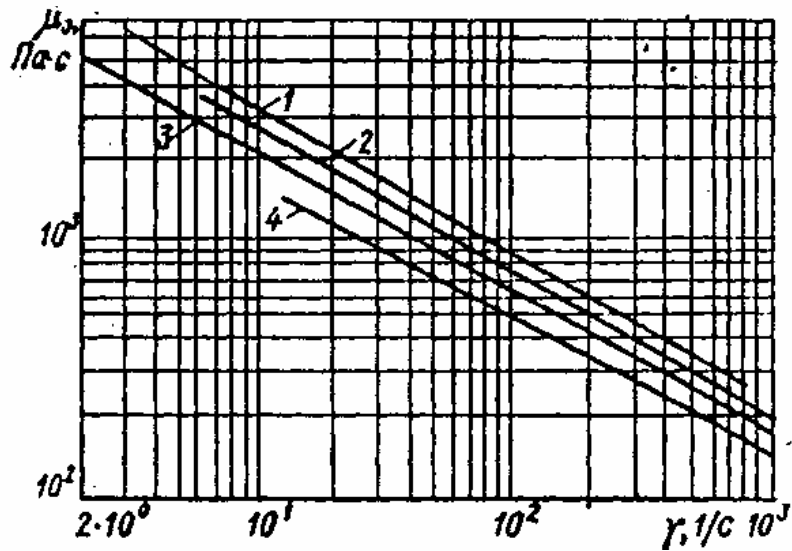


Рис. 9. Зависимость эффективной вязкости расплава от градиента скорости для ПЭВП (ПТР=1,2 г/10 мин) при температуре, °С: 1 – 160; 2 – 180; 3 – 210; 4 – 270[15]

Аналогичные расчеты Δp выполняются и для остальных каналов головки. В результате расчетов получаем следующие значения:

$$\Delta p_{\Gamma} = \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 + \Delta p_4 + \Delta p_5$$

$$\Delta p_{\Gamma} = 357,4 \cdot 10^5 + 23,8 \cdot 10^5 + 159,5 \cdot 10^5 + 83,67 \cdot 10^5 + 306,6 \cdot 10^5 = 930,9 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$V_1 = 0,63 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}; \Delta p_1 = 930,9 \text{ Па.}$$

$$V_2 = 0,54 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}; \Delta p_2 = 844,93 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

$$V_3 = 0,36 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}; \Delta p_3 = 704,51 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

Характеристика головки изображена на рис. 10, линия 1.

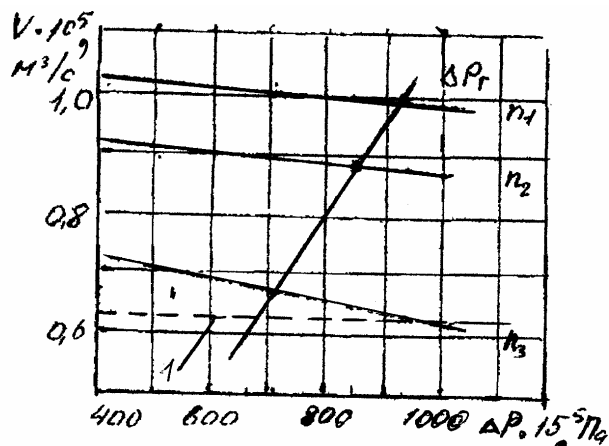


Рис. 10. Зависимость производительности экструдера ЧП 63×20 от давления расплава ПВХ на выходе из экструдера

Таблица 13

Материал	ПТР, г/10 мин	Температура, °С					
		140	160	180	200	220	240
Полиэтилен высокой плотности	1,2	$\frac{17\ 000^*}{0,42^{**}}$	$\frac{12\ 150}{0,43}$	$\frac{8930}{0,45}$	$\frac{7600}{0,46}$	$\frac{6600}{0,48}$	$\frac{5800}{0,50}$
Полиэтилен низкой плотности	0,3	$\frac{41\ 830}{0,34}$	$\frac{32420}{0,35}$	$\frac{23\ 190}{0,37}$	$\frac{15880}{0,40}$	$\frac{13000}{0,40}$	$\frac{11\ 980}{0,40}$
	2,0	$\frac{30\ 640}{0,32}$	$\frac{23750}{0,34}$	$\frac{15\ 290}{0,38}$	$\frac{10230}{0,41}$	$\frac{7\ 800}{0,42}$	$\frac{7\ 120}{0,44}$
Полипропилен	0,7	–	–	$\frac{42000}{0,17}$	$\frac{18800}{0,27}$	$\frac{8920}{0,35}$	$\frac{6200}{0,375}$
Поливинилхлорид пластифици- рованный	–	$\frac{85000}{0,20}$	$\frac{57800}{0,24}$	$\frac{31\ 500}{0,28}$	$\frac{16500}{0,34}$	$\frac{11\ 000}{0,36}$	$\frac{9000}{0,36}$
Поливинилхлорид пластифици- рованный	–	$\frac{113000}{0,38}$	$\frac{101000}{0,4}$	$\frac{88000}{0,41}$	$\frac{73000}{0,41}$	–	–

* Числитель

** Знаменатель

2.3.5.3. Расчет производительности червячного пресса. Так как червячный пресс состоит из двух взаимосвязанных элементов: нагнетательно-го устройства (собственно червячной машины) и дросселирующего (сменной фильтрующей головки), то его действительная производительность будет зависеть от внешних характеристик обоих элементов. Поэтому для нахождения действительной производительности необходимо совместно

решить систему уравнений, описывающих внешние характеристики машины и головки.

Решение находится графическим путем построения совмещенной характеристики прессы и головки (см. рис. 5).

Для построения рабочих характеристик червяка расчет проведен при трех значениях частоты его вращения: $n_1 = 0,62 \text{ с}^{-1}$, $n_2 = 0,53 \text{ с}^{-1}$, $n_3 = 0,4 \text{ с}^{-1}$ и трех перепадах давления Δp_1 , Δp_2 , Δp_3 (см. рис. 10).

Для последующего расчета производительности прессы по формулам [6] определим значения коэффициентов v_B , K_P , K_3 соответственно:

$$v_B = \frac{\pi D h_3 (t - ie) \cos^2 \varphi}{2} \Phi_B,$$

$$K_P = \frac{h_3^3 (t - ie) \sin \varphi \cos \varphi}{12 L_3} \Phi_P,$$

$$K_3 = \frac{\pi^2 D^2 \delta^3 \operatorname{tg} \varphi \sin \varphi}{10 e i L_3}.$$

Значения форм-факторов Φ_B и Φ_P для расчета v_B и K_P находим по уравнениям:

$$\Phi_B = 0,125 \left(\frac{h}{b}\right)^2 - 0,625 \left(\frac{h}{b}\right) + 1,$$

$$\Phi_P = 0,13 \left(\frac{h}{b}\right)^2 - 0,71 \left(\frac{h}{b}\right) + 1.$$

Уравнение производительности:

$$V = v_B n - K_P \frac{\Delta p}{\mu n} - K_3 \frac{\Delta p}{\mu_3};$$

$$\Phi_B = 0,125 \left(\frac{3,5}{54,04}\right)^2 - 0,625 \frac{3,5}{54,03} + 1 = 0,562,$$

$$\Phi_P = 0,13 \left(\frac{3,5}{54,04}\right)^2 - 0,71 \frac{3,5}{54,03} + 1 = 0,955,$$

$$v_B = \frac{3,14 \cdot 0,063 \cdot 0,0035 (0,063 - 0,0063) \cdot 0,953 \cdot 0,962}{2} = 17 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3,$$

$$K_p = \frac{(3,5 \cdot 10^{-3})(0,063 - 0,0063)0,308 \cdot 0,953 \cdot 0,955}{12 \cdot 0,378} = 1,4 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3,$$

$$K_3 = \frac{3,14^2 \cdot 0,063^2 (0,2 \cdot 10^{-3})^3 0,318 \cdot 0,303}{10 \cdot 0,0063 \cdot 0,378} = 1,26 \cdot 10^{-12} \text{ м}^3.$$

Теперь уравнение производительности можно записать в виде

$$V = 1,7 \cdot 10^{-5} n - 1,4 \cdot 10^{-3} \frac{\Delta p}{\mu_K} - 1,26 \cdot 10^{-12} \frac{\Delta p}{\mu_3}.$$

Эффективная вязкость расплава в канале червяка определяется при средней температуре в зоне дозирования:

$$t_{\text{ср}} = \frac{t_{2K} + t_3}{2}; \quad t_{\text{ср}} = \frac{150 + 160}{2} = 155 \text{ }^\circ\text{C},$$

где $t_{2K} = 150 \text{ }^\circ\text{C}$ – температура в конце зоны сжатия.

Градиент скорости в канале червяка рассчитываем по формуле

$$\gamma_K = \frac{\pi^2 (D - h_{\text{ср}})(D - 2h_{\text{ср}})n}{h_{\text{ср}} \sqrt{\pi^2 (D - 2h_{\text{ср}})^2 + t^2}};$$

$$\gamma_K = \frac{3,14^2 (0,063 - 0,0035)(0,063 - 2 \cdot 0,0035)n}{0,0035 \sqrt{3,14^2 (0,063 - 2 \cdot 0,0035)^2 + 0,0063^2}} = 5,02n \text{ с}^{-1}.$$

При частоте вращения червяка $n = 0,62$ градиент скорости в канале червяка $\gamma_K = 5,02 \cdot 0,62 = 3,11 \text{ с}^{-1}$, в зазоре $\gamma_3 = 975 \cdot 0,62 = 604,5 \text{ с}^{-1}$.

Соответственно этим градиентам эффективные вязкости при соответствующих температурах [15] будут равны:

$$\mu_{\text{эК}} = 104000 \cdot 3,11^{-0,605} = 52261,31 \text{ Па} \cdot \text{с},$$

$$\mu_{\text{э3}} = 73000 \cdot 604,5^{-0,59} = 1668,57 \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Тогда при максимальном сопротивлении головки $\Delta p_{\Gamma} = 930,9 \cdot 10^5 \text{ Па}$ получим:

$$V = 1,77 \cdot 10^{-5} \cdot 0,62 - 1,4 \cdot 10^{10} \frac{930,9 \cdot 10^5}{3226131} - \frac{930,9 \cdot 10^5}{16687} 1,26 \cdot 10^{-12} = 1,022 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}.$$

Рассчитанные значения V для выбранных значений n сведем в табл. 14.

Производительность червячной машины при разной частоте вращения шнека

$n, \text{с}^{-1}$	$\Delta p \cdot 10^{-5}, \text{Па} \cdot \text{с}$	$V \cdot 10^5, \text{м}^3/\text{с}$
0,62	930,9	1,022
	844,9	1,025
	704,5	1,029
0,53	930,9	0,880
	844,9	0,890
	704,5	0,900
0,40	930,9	0,650
	844,9	0,658
	704,5	0,660

По данным табл. 14 и значениям Δp_{Γ} строим совмещенную рабочую характеристику червячного пресса и головки для определения рабочего числа оборотов червяка. Построение совмещенной характеристики приведено на рис. 10.

Из рис. 10 видно, что частота вращения, отвечающая заданной производительности $V = 0,65 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$, составляет $n = 0,4 \text{ с}^{-1}$. Все дальнейшие расчеты проводим при этой частоте вращения.

2.3.5.4. Расчет действительных зон загрузки и плавления. Примем геометрическую длину зоны загрузки, где $t_{\text{ц}} = t_{\text{пл}}$, равной

$$l_1 = 2D = 2 \cdot 63 = 126 \text{ мм.}$$

Для определения приращения длины зоны загрузки предварительно найдем следующие величины.

Теплопроводность расплава над твердой пробкой гранул винипласта при средней температуре находим по рис. 2, прил. 1.

$$t_{\text{ср}} = \frac{t_{\text{ц}} - t_{\text{пл}}}{2} = \frac{210 + 70}{2} = 140 \text{ }^{\circ}\text{C}, \quad \alpha = 0,172 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}).$$

Удельная теплоемкость пробки винипласта при средней температуре рис. 3, прил.1:

$$t_{\text{ср}} = \frac{t_1 + t_{\text{пл}}}{2} = \frac{210 + 120}{2} = 165 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad c_p = 2,10 \cdot 10^3 \text{ Дж}/(\text{м} \cdot \text{К}).$$

Для этих значений фактор Φ равен:

$$\Phi = \frac{\lambda(t_{\text{ц}} - t_{\text{пл}})}{c_p(t_{\text{пл}} - t_1)} = \frac{0,192(210 - 120)}{2,10 \cdot 10^2(140 - 60)} = 0,088 \cdot 10^{-3} \text{ кг}/(\text{м} \cdot \text{с}).$$

В зоне загрузки ширина пробки равна $x_0 = b$, тогда согласно [6]

$$\Phi' = \frac{h_1}{G} \left[\frac{\Phi \pi D \sin \varphi \rho_T (t - je) \cos \varphi}{2(x_0 / b)} \right]^{0,5},$$

$$\Phi' = \frac{9,6 \cdot 10^{-3}}{0,0097} \left[\frac{0,088 \cdot 10^{-3} \cdot 3,14 \cdot 0,063 \cdot 1550 \cdot \sin 17,4 \cdot 1550 (0,63 - 0,0063) 0,953}{2} \right]^{0,5} = 0,0305.$$

Приращение длины зоны загрузки составит

$$\Delta l = (4,8 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\Phi'} + 1) D,$$

$$\Delta l = \left(\frac{4,8 \cdot 10^{-3}}{0,0305} + 1 \right) 0,063 = 0,097 \text{ м}.$$

Общая длина технологической зоны загрузки $l_1 = l_1' + \Delta l$:

$$l_1 = 0,126 + 0,097 = 0,223 \text{ м}.$$

Длину зоны плавления найдем, рассчитав последовательно изменение ширины пробки по длине участков червяка с различной геометрией. Для зоны плавления на первом участке червяка с постоянной глубиной нарезки:

$$h_1 = 9,6 \text{ мм}; \quad \Delta l_1 = L_1 - l_1; \quad \Delta l_1 = 576 - 223 = 353 \text{ мм}.$$

Относительная ширина пробки в конце участка Δl_1 при ранее рассчитанном значении Φ' :

$$\frac{x_1}{b} = \left(1 - \frac{\Phi'}{2h_1 \sin \varphi} \Delta l_1 \right)^2; \quad \frac{x_1}{b} = \left(1 + \frac{0,0305 \cdot 0,353}{2 \cdot 0,0096 \cdot 0,303} \right)^2 = 0,0336 \text{ м}.$$

Для последующего участка длина $L_2 = 315 \text{ мм}$:

$$\Phi_2' = \frac{h_1}{G} \left(\frac{\Phi \pi D n \sin \varphi V_T b}{2\chi / b} \right)^{0,5};$$

$$\Phi_2' = \frac{9,6 \cdot 10^{-3}}{9,7 \cdot 10^{-3}} \left(\frac{0,88 \cdot 10^{-3} \cdot 3,14 \cdot 0,063 \cdot 0,4 \cdot 0,303 \cdot 1550 \cdot 0,054}{2 \cdot 0,0336} \right)^{0,5} = 0,15.$$

Ширину пробки в конце зоны сжатия рассчитываем по формуле

$$\frac{x_2}{b} = \frac{x_1}{b} \left[\frac{\Phi_2'}{\chi} - \left(\frac{\Phi_2'}{\chi} - 1 \right) \left(\frac{n_1}{n_3} \right)^{0,5} \right]^2, \text{ где } \chi = \frac{h_1 - h_3}{L_2}; \chi = \frac{9,6 - 3,5}{315} = 0,019,$$

$$\frac{x_2}{b} = 0,014 \left[\frac{0,15}{0,019} - \left(\frac{0,15}{0,019} - 1 \right) \left(\frac{9,6}{3,5} \right)^{0,5} \right]^2 = 0,17 \text{ м.}$$

Для участка зоны дозирования

$$\Phi_3' = \frac{h_3}{G} \left(\frac{\Phi \pi D n \sin \varphi \Gamma b}{2x_2/b} \right)^{0,5},$$

$$\Phi_3' = \frac{9,6 \cdot 10^{-3}}{9,7 \cdot 10^{-3}} \left(\frac{0,08 \cdot 10^{-3} \cdot 3,14 \cdot 0,063 \cdot 0,04 \cdot 0,303 \cdot 1550 \cdot 0,054}{2 \cdot 0,196} \right)^{0,5} = 0,06.$$

Длину окончания зоны плавления на участке дозирования червяка находим по формуле

$$\Delta l_3 = \frac{2h_3}{\Phi_3'} \sin \varphi; \Delta l_3 = \frac{2 \cdot 3,5 \cdot 10^{-3}}{0,06} \cdot 0,303 = 0,35 \text{ м.}$$

Длина технологической зоны плавления:

$$l_2 = \Delta l_1 + L_2 + \Delta l_3; l_2 = 353 + 315 + 0,035 = 703 \text{ мм.}$$

2.3.5.5. Расчет мощности привода [6]. Скорость перемещения пробки материала вдоль оси канала находим по формуле:

$$\omega_{\text{пр}} = \frac{G}{\rho_{\text{H}} \cdot b \cdot h_{\text{ср}}}; \omega_{\text{пр}} = \frac{0,097}{550 \cdot 0,054 \cdot 0,0096} = 0,034 \text{ м/с.}$$

Относительная скорость перемещения пробки составляет

$$\Delta \omega_{\text{пр}} = \sqrt{(\pi D n - \omega_{\text{пр}} \cos \varphi)^2 + (\omega_{\text{пр}} \sin \varphi)^2};$$

$$\Delta \omega_{\text{пр}} = \sqrt{(3,14 \cdot 0,063 \cdot 0,4 - 0,034 \cdot 0,953)^2 + (0,034 \cdot 0,303)^2} = 0,04 \text{ м/с.}$$

Толщина пленки расплава над пробкой материала при плотности $\rho = 1520 \text{ кг/м}^3$, соответствующей средней температуре пленки:

$$\delta_0 = \frac{2 \cdot (t - ie)}{\rho_T \cdot \omega_{\text{пр}} \sin \varphi} \Phi; \quad \delta_0 = \frac{2(0,063 - 0,0063)0,34 \cdot 10^{-3}}{1520 \cdot 0,034 \cdot 0,303} = 0,00024 \text{ м}.$$

Градиент скорости, рассчитанный по выражению $\gamma = \frac{\Delta\omega_{\text{пр}}}{\delta_0}$, составит

$$\gamma = \frac{0,04}{0,00024} = 166,6 \text{ с}^{-1}.$$

Эффективная вязкость расплава при $t_{\text{ц}} = 210 \text{ }^\circ\text{C}$ определяем по рис. 9

$$\mu_{\text{Э}} = 73000 \cdot 1626^{0,4-1} = 294 \text{ Па}\cdot\text{с}.$$

Величину мощности N_2' , диссипируемой в пленке расплава над пробкой, определяем по уравнению

$$N_2' = \mu_{\text{Э}} \Delta\omega_{\text{пр}}^2 \frac{t - ie}{2\delta_0 \text{tg}\varphi} l_2$$

$$N_2' = \frac{294 \cdot 0,05^2 (0,063 - 0,0063) 0,703}{2 \cdot 0,00024 \cdot 0,318} = 12615,9 \text{ Вт}.$$

Градиент скорости в зазоре $\gamma = \frac{\pi D n}{\delta}$;

$$\gamma = \frac{3,14 \cdot 0,063 \cdot 0,4}{0,00020} = 395,64 \text{ с}^{-1}.$$

Тогда эффективная вязкость в зазоре $\mu_{\text{Э}_3} = 73000 \cdot 395,64^{0,4-1} = 1168,57 \text{ Па}\cdot\text{с}$.

Мощность, теряемая в зазоре на участке плавления,

$$N_2'' = \frac{\pi^2 D^2 n^2}{\text{tg}\varphi \delta} \mu_{\text{Э}_3} ie L_2.$$

$$N_2'' = \frac{3,14^2 \cdot 0,063^2 \cdot 0,4 \cdot 1168,57 \cdot 0,0063 \cdot 0,668}{0,318 \cdot 0,125} = 2324,6 \text{ Вт}.$$

Коэффициент I согласно формуле $I = \frac{\pi^2 D^2 4t^2}{\pi^2}$;

$$I = \frac{3,14^2 \cdot 0,063^2 \cdot 4 \cdot 0,063^2}{3,14^2} = 0,0024.$$

Тогда по формуле $N_3' = \frac{\pi^3(t-ie)l_3I}{t} \mu_K n^2$ определяем мощность, теряемую в канале червяка в зоне дозирования,

$$N_3' = \frac{3,14^3(0,063 - 0,0063)0,378 \cdot 0,0024 \cdot 0,4^2}{0,063} = 486 \text{ Вт.}$$

Мощность, теряемая в канале формирующей головки,

$$N_\Gamma = V\Delta p_\Gamma = 0,63 \cdot 10^{-5} \cdot 930,9 \cdot 10 = 609,8 \text{ Вт.}$$

Мощность, теряемая в зазоре на длине зоны дозирования,

$$N_3'' = \frac{\pi^2 D^2 n^2}{\text{tg}\varphi\delta} \mu_{\text{Э}_3} i e l_3.$$

$$N_3'' = \frac{3,14^2 \cdot 0,063^2 \cdot 0,4 \cdot 2018,25 \cdot 0,0063 \cdot 0,378}{0,318 \cdot 0,063} = 472,2 \text{ Вт.}$$

Общие затраты мощности в червячной машине составят:

$$N_{\text{инд}} = N_2' + N_2'' + N_3' + N_3'' + N_\Gamma,$$

$$N_{\text{инд}} = 126215,9 + 2324,6 + 486 + 472,26 + 605,8 = 16504,56 \text{ Вт.}$$

Мощность электродвигателя червячного пресса $N_\text{Э} = \frac{N_{\text{инд}}}{\eta}$,

где η – коэффициент, учитывающий потери энергии в приводе червячной машины и другие, неучтенные расчетом, потери; $\eta = 0,75$.

$$N_\text{Э} = \frac{16504,56}{0,75} = 22006,08 \text{ Вт} \approx 22 \text{ кВт.}$$

Таким образом, экструдер ЧП 63×20 может быть использован для переработки винипласта в профильно-погонажное изделие – планка соединительная. Аналогично производится расчет экструдеров для других профилей, представленных в табл. 5.

2.3.6. Производительность двухчервячных машин для пластмасс

Процессы течения расплавленного материала в машинах данного типа более сложны, чем в одночервячных машинах, и еще недостаточно изу-

чены, в связи с чем расчет этих машин в основном базируется на эмпирических данных.

Производительность машины определяется вынужденным потоком и противотоком:

$$Q = n(2\pi - \alpha')(\pi D t \operatorname{tg} \varphi - b')(D - h)h - \frac{(2\pi - \alpha')D\delta^3 \operatorname{tg} \varphi \Delta p}{12\mu_{\text{эф}} b'}$$

где n – скорость вращения червяка;

α' – угол, определяемый по формуле

$$\cos \alpha' = 1 - \frac{2h}{D - h} + \frac{h^2}{2(D - h)^2},$$

где h – глубина винтового канала;

D – диаметр червяка;

φ – угол подъема винтовой линии;

b' – толщина витка;

δ – радиальный зазор между витками и сердечником червяка;

Δp – разность давлений массы по обе стороны витка;

$\mu_{\text{эф}}$ – динамическая вязкость массы.

Эффективная производительность не учитывает последних исследований геометрической совместимости червяков двухчервячной машины, поэтому приводим формулу, характеризующую производительность двухчервячной машины с вращением червяков в одну сторону:

$$Q = 2kn[\pi h(t - b_y)(Df + DF_d \frac{\cos^2 \varphi}{2} - DF_c f) - F_3 t],$$

где k – коэффициент, учитывающий влияние смесительных кулачков, равный 0,6;

n – скорость вращения, мин^{-1} ;

h – глубина винтового канала, см;

t – шаг винтовой линии;

b_y – условная ширина гребня витка;

D – наружный диаметр, см;

F_d – коэффициент, учитывающий влияние боковых стенок, равный 0,64;

F_c – коэффициент, учитывающий кривизну канала, равный 1,05;

f – поправочный коэффициент, по данным эксперимента равный 0,28;

F_3 – площадь сегментного зацепления, см^2 .

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Таблица 1

Режимы переработки пластмасс методом экструзии

Пластмасса	Вид изделия, марка материала	Температура, °С		Удельное давление, МПа
		расплава	формующе-го инструмента	
Полиэтилен низкой плотности	Трубы напорные для контакта с пищевыми продуктами, листы	160 – 220	160 – 230	0,05 – 0,15
	Трубы безнапорные, профили	150 – 180	160 – 210	0,02 – 0,15
	Изоляция, защитные покрытия	150 – 220	170 – 220	>> >>
Полиэтилен высокой плотности	Покрытие бумаги, ткани	170 – 190	170 – 210	>> >>
	Трубы	170 – 220	180 – 230	>> >>
	Пленка, профили	170 – 210	180 – 230	>> >>
	Изоляция, покрытие	220 – 230	220 – 240	0,1 – 1
Сополимер этилена с пропиленом		175 – 235	>> >>	
Сополимер этилена с винилацетатом		125 – 150	145 – 160	>> >>
Полипропилен		180 – 250	190 – 260	
Блоксополимер пропилена с этиленом		170 – 230	190 – 250	
ПВХ непластифицированный	Трубы, листы, профили	140 – 160	150 – 170	
ПВХ пластифицированный	Трубки, пленки	150 – 180	160 – 190	
Полистирол	Для ПСМ, ПСМД	170 – 200	170 – 200	0,05 – 0,5
	Для ПСЭ-1	190 – 230	>> >>	>> >>
АБС-пластики		180 – 230	180 – 230	
Этролы		140 – 180	150 – 190	30 – 40
ПММА		185 – 215	185 – 215	
Полиамид 12		210 – 220	210 – 220	0,02 – 0,1
Поликарбонат		240 – 290	250 – 290	0,05 – 1,0

Таблица 2

Технические характеристики типовых одночервячных
универсальных прессов

Условное обозначение прессы	D , мм	$\frac{L}{D}$	Частота вращения, мин ⁻¹	Мощность привода, кВт	Мощность нагревателей, кВт	Число зон нагрева	Производительность по полиэтилену, кг/ч
ЧП20×20 ЧП20×25	20	20 25	12,5 – 125 18 – 180 26 – 260	2,2	1,5	3	4 6 9
ЧП32×20 ЧП45×25	32	20 25	11 – 106 14 – 140 21 – 212	6,1	3,6	3	11 15 23
ЧП45×20 ЧП45×25	45	20 25	9 – 90 12 – 118 18 – 180	11 19 19	7,5	4	30 46 80
П63×20 ЧП63×25	63	20 25	7,5 – 75 10 – 100 15 – 150	25 25 32	14 14 19	4	63 90 100
ЧП90×20 ЧП90×25	90	20 25	6 – 63 9 – 90 12,5 – 125	55 55 75	19 19 26	4	95 135 185
ЧП125×20 ЧП125×25	125	20 25	4 – 43 6 – 63 8,5 – 85	100	50	6	145 300 350
ЧП160×20 ЧП160×25	160	20 25	3 – 34 5 – 50 7 – 67	125 125 160	80	6	220 335 450
ЧП200×20 ЧП200×25	200	20 25	3 – 27 4 – 40 5 – 53	200 200 250	120	6	400 500 800

Рекомендации по выбору типа червяка и градиентов скорости при переработке пластмасс

Материал	Вид изделия	Вид за-гружае-мого ма-териала	Насыпная плотность	Тип червяка	Отношение h_1/h_2	Градиент скорости γ , c^{-1}	Число вит-ков в зоне дозирования	Число вит-ков в зоне сжатия
Полиэтилен ПЭВП	Трубы, профили	Гранулы	500 – 550	1А, 1Б, 2А	3,50 – 4,30	50 – 110	8	1
	Листы	»	500 – 550	1А, 1Б, 2А	3,50 – 4,30	100 – 230	9	1
Полиэтилен ПЭНП	Покрытия	»	500	1А, 1Б, 2А	4,00 – 4,75	100 – 240	9	1
	Пленки, трубы, профили	»	500	1А, 1Б, 2А	3,50 – 4,30	50 – 110	9	1
Полипропилен ПП	Любой	»	500	2А, 2Б	4,00 – 4,35	55 – 110	9	1
ПВХ непла-стифицирован-ный	Любой	Порошок	450 – 550	3Б, 3В, 1А	2,70 – 3,10	15 – 40	5 – 6	5 – 6
ПВХ пласти-фицированный	Любой	»	500	3А, 1А	3,35 – 4,00	90 – 110	6	1
Полистирол	Гранулы	Бисер	500 – 550	1Б, 2В, 4А	4,00 – 4,35	100 – 200	9	1
	Листы	Гранулы	500 – 600	1Б, 2А	4,00 – 4,35	50 – 110	9	1
Полиамиды	Любые	»	600 – 700	1Б, 2А	4,00 – 4,35	50 – 110	9	1
Полиакрилаты	Любые	»	600 – 700	1Б, 3А	3,35 – 3,70	40 – 110	8	1

Таблица 4

Зависимость вязкости термопластов от температуры

Термопласт	E_{γ} (кДж/моль) при скоростях сдвига γ (с^{-1})					$\eta_T / \eta_T + 10\text{K}$					
	10^0	10^1	10^2	10^3	10^4	В ньютоновской области	При скоростях сдвига γ (с^{-1})				
							10^0	10^1	10^2	10^3	10^4
ПС _{бл}	67	52	41	30	26	1,81	1,40	1,30	1,23	1,16	1,14
ПК	108	108	88	41	33	1,55	1,55	1,55	1,43	1,18	1,14
ПММА	128	65	42	41	39	1,95	1,91	1,39	1,24	1,23	1,22
ПСФ	77	77	70	50	34	1,28	1,28	1,28	1,25	1,17	1,11
СНП	70	40	31	30	28	1,69	1,42	1,28	1,17	1,16	1,15
ПЭВП	21	18	17	16	10	1,19	1,11	1,10	1,09	1,08	1,05
ПЭНП	37	30	25	21	16	1,32	1,21	1,16	1,13	1,11	1,08
ПП	31	18	17	13	12	1,24	1,17	1,10	1,09	1,07	1,06
ПА-12	63	53	39	29	22	1,34	1,34	1,28	1,20	1,15	1,11
ПА-610	47	43	34	25	18	1,21	1,21	1,18	1,15	1,12	1,09
ПА-6	48	48	48	30	18	1,24	1,24	1,24	1,22	1,13	1,09
ПА-66	121	121	103	78	59	1,64	1,64	1,64	1,52	1,37	1,27
ПА-12/6/66	64	55	43	26	12	1,34	1,34	1,28	1,25	1,13	1,05
ПА 12-АПН	64	64	49	38	30	1,31	1,31	1,31	1,22	1,16	1,14
СФД	35	35	29	14	11	1,21	1,21	1,21	1,17	1,08	1,06
СТД	29	27	18	11	5	1,18	1,18	1,16	1,10	1,06	1,03
ПЭТФ	108	108	103	73	54	1,54	1,54	1,54	1,51	1,34	1,24
ПБТФ	101	101	80	63	39	1,56	1,56	1,56	1,42	1,32	1,19

Таблица 5

Основные конструктивные параметры червяка (шаг нарезки $t_i/D = 0,8 - 1,2$)

Зона червяка	Длина зоны L/D	Глубина винтового канала h_i/D	Ширина гребня нарезки e_i/D	Радиальный зазор δ_i/D
Зона питания	2 – 10	0,12 – 0,16*	0,08 – 0,1	0,06 – 0,1
Зона плавления	1 – 15**	Плавнo уменьшается от h_1 до h_2	0,05 – 0,1	0,002 – 0,005
Зона дозирования	2 – 12	$0,5 \left\{ 1 - \left[1 - \frac{4h_1}{KD} \left(1 - \frac{h_1}{D} \right) \right]^{0,5} \right\}^{***}$	0,08 – 0,1	0,002 – 0,005

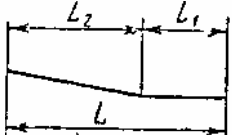
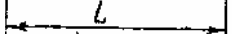
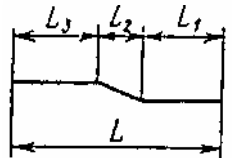
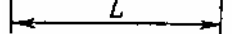
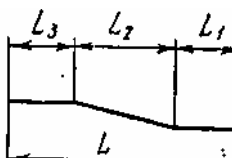


* Постоянная или плавнo уменьшается.

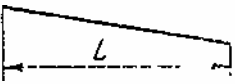
** Выбирается по экспериментальным данным об изменении удельного объема материала по длине червяка.

*** Здесь K – степень сжатия.

Таблица 6

Конструктивные параметры типовых червяков одночервячных прессов

Группа	Тип червяка	Схема изменения глубины нарезки	L/D	$L_{об}/D$	L_1/D	L_2/D	L_3/D		
1	1Б		20(25)	22,5 (27,5)	11(13)	9 (12)	–		
	1А							8 (11)	
2	2А		20(25)	22,5 (27,5)	10(12)	1	9(12)		
	2Б							12(14)	7(10)
3	3А		20(25)	22,5 (27,5)	9(11)	4(6)	7(8)		
	3Б							5(7)	6(7)
	3В							6(8)	5(6)

Группа	Тип червяка	Схема изменения глубины нарезки	L/D	$L_{об}/D$	L_1/D	L_2/D	L_3/D
4	4А		20(25)	22,5	—	—	—
	4Р*		3 – 12	(27,5)	—	—	—

Примечание. Размер D выбирается из ряда диаметров нормализованных червяков: 20, 32, 45, 63, 90, 125, 160, 200, 250, 320, 400, 450, 500 мм.

* Для переработки резиновых смесей.

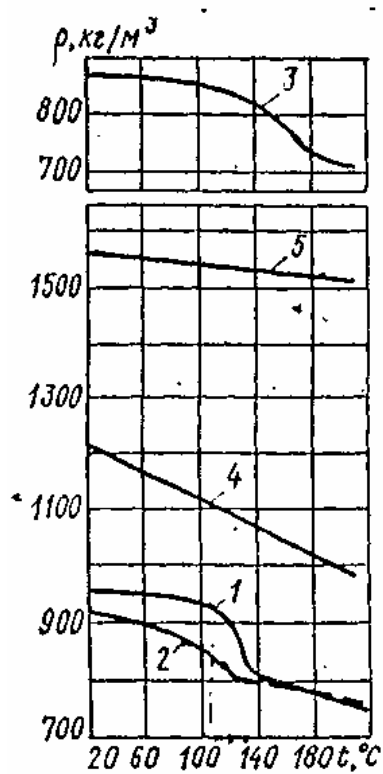


Рис. 1. Зависимость плотности термопластов от температуры:
1 – ПЭВП; 2 – ПЭНП;
3 – ПП; 4 – ПВХ_{ПЛ};
5 – ПВХ_{НП}

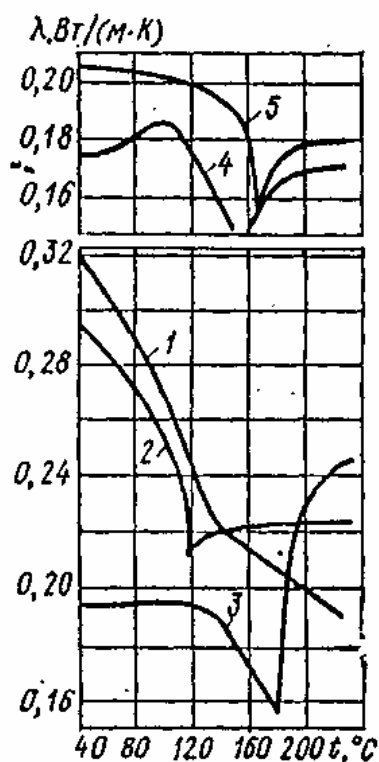


Рис. 2. Зависимость теплопроводности термопластов от температуры:
1 – ПЭВП; 2 – ПЭНП
3 – ПП; 4 – ПВХ_{ПЛ};
5 – ПВХ_{НП}

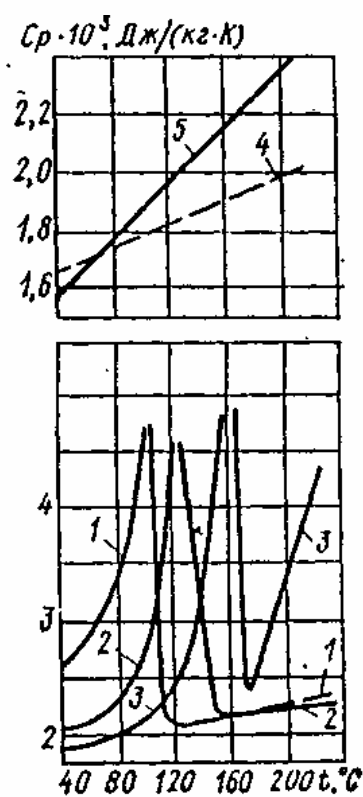


Рис. 3. Зависимость теплоемкости термопластов от температуры:
1 – ПЭВП; 2 – ПЭНП;
3 – ПП; 4 – ПВХ_{ПЛ};
5 – ПВХ_{НП}

КАРТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ТРУБ ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНА

Таблица 1

Характеристика сырья

Наименование	Марка	ГОСТ	Плотность, кг/м ³	Показатель текучести расплава		Летучие вещества, %	Золь- ность, %
				Предельные значения, г/10 мин	Допустимый разброс, %		
Полиэтилен вы- сокой плотности	20306-003	16338-70	940	0,3 – 0,6	±0,15	0,1	0,025

Таблица 2

Характеристика готового изделия

Типораз- мер	ГОСТ	Наружный диаметр, мм		Толщина стенки, мм		Предел текучести при растяжении, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Длина отрезков, м	Диаметр бухты, м		Масса, кг	
		номиналь- ный	допустимое отклонение	номиналь- ная	допустимое отклонение				наружный	внутренний	1 погонный метр	пачки, бухты
110×6,2 С	18599-73	110	+1,8	6,2	+0,8	21	210	6	-	-	2,04	80

Таблица 3

Характеристика оборудования

Тип агрегата	Шнек				Формующая головка			Калибрующий инструмент			Охлаждающие ванны		Тянущее устройство		Отрезное устройство		
	Диаметр D , мм	Соотношение D/L	Степень сжатия	Частота вращения, мин ⁻¹	Диаметр дорна, мм	Диаметр мундштука, мм	Длина формующего зазора, мм	Способ	Диаметр насадки, мм	Длина насадки, мм	Число ванн	Длина ванны, м	Тип	Скорость отвода, м/мин	Диаметр	Толщина	Частота вращения, мин ⁻¹
АТ 110/315	152	1/20	3	71	88,5	102	140	Сжатым воздухом	113,6	370	2	7	Гусенично-роликовый	0,14 – 0,15	820	6,6	1420

Параметры технологического процесса

0,4 – 0,6	0,3 – 0,4	Показатель текучести расплава, г/10 мин	60 – 80	Температура подсушки, °С	30 – 45	Частота вращения червяка, мин ⁻¹	Температура охлаждающей воды, °С	Температура по зонам, °С										Калибрование		Температура охлаждающей воды в ванне, °С		Скорость отвода, м/мин
								Цилиндр					Головка					Давление, МПа	Температура Отходящей воды, °С	входящей	отходящей	
–	–	Червяк	Цилиндр	I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V	До 0,15	16 – 22	9 – 16	14 – 20					
–	–	–	–	–	–	–	–	160 – 170	165 – 175	170 – 180	175 – 185	180 – 190	165 – 175	160 – 170	150 – 160	150 – 160	150 – 160	До 0,15	16 – 22	9 – 16	14 – 20	
155 – 165	160 – 170	165 – 175	170 – 185	175 – 180	155 – 165	150 – 160	145 – 155	145 – 150	145 – 150	До 0,15	16 – 22	9 – 16	14 – 20	1,8 – 2,2	1,8 – 2,2							

Пример рекламного проспекта линий для производства профилей

ФИРМА ТЕХНОПЛАСТ (АВСТРИЯ)

Является одним из ведущих производителей экструзионного оборудования для изготовления оконного профиля, подоконников, сайдинг-панелей, электрокоробов, плинтусов, труб из ПВХ и полипропилена, а также оборудования для сборки пластиковых окон.

Фирма выпускает комплектующее оборудование линий

- ◆ ЭКСТРУДЕРЫ И СОЭКСТРУДЕРЫ
- ◆ УСТАНОВКА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ СЫРЬЯ
- ◆ ЭКСТРУЗИОННЫЕ УСТАНОВКИ (КАЛИБРОВОЧНЫЕ СТОЛЫ, ГУСЕНИЧНЫЕ ОТТЯГИВАТЕЛИ, СДВИГАЮЩИЕ СТОЛЫ)
- ◆ ФИЛЬЕРЫ
- ◆ СБОРОЧНЫЕ ЛИНИИ ДЛЯ ПВХ-ПРОФИЛЕЙ
- ◆ РУЧНОЙ ИНСТРУМЕНТ
- ◆ ТРАНСПОРТНЫЕ ТЕЛЕЖКИ
- ◆ ЛАБОРАТОРНЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭКСТРУЗИИ
- ◆ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЛАМИНИРОВАНИЯ ПРОФИЛЯ
- ◆ МАШИНЫ ДЛЯ ИЗГИБА ПРОФИЛЯ
- ◆ ДРОБИЛКА ДЛЯ ПРОФИЛЯ
- ◆ УСТАНОВКА ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ХОЛОДНОЙ ВОДЫ И СЖАТОГО ВОЗДУХА

Проектирует и поставяет производства «под ключ» (TURN-KEY). По желанию клиента разрабатывает профильную систему.

Конечный продукт соответствует всем требованиям страны-заказчика – климатическим условиям, строительным нормам и т.д.

Предложение № 98-М 183

Одна комплектная линия для производства 1050 тонн профиля в год

Оборудование для подготовки сырья		
Двухстадийный смеситель	ТНК 1000	285 600 DM
Подготовительный сосуд смесителя на 130 литров	ТНК 1901	18760 DM
	Сумма	304 360 DM
Экструзия		
Конический двухшнековый экструдер	TDE 6000	349500 DM
Рама для отсасывающего устройства	TDE 6903	1580 DM
Вакуумное питающее устройство	TFG 1200	29450 DM
Созэкструдер	TCE 3000	60600 DM
Калибровочный стол	TKT 8400 A	132400 DM
Оттягивающее устройство	TRZ 3000 A	148800 DM
Прибор для нанесения защитной пленки	TRZ 3905	6160 DM
Приемное устройство – желоб	TST 7000 A	10380 DM
Рельсовый путь	TSB 8000	2470 DM
	Сумма	741340 DM
Экструдерные фильеры (оснастка)		
Рама	AUT 1	167820 DM
Створка	AUT 2	172060 DM
Штапик	AUT 3	79460 DM
Штапик для фиксированного стекла	AUT 5	79460 DM
Штулп	AUT 8	123610 DM
Крышка для штулпа	AUT 9	59210 DM
Инпост	AUT 13	171320 DM
	Сумма	852940 DM
Подготовка охлаждающей жидкости	TKA 1030	204850 DM
Дробилка для профилей	TPM 2000	89220 DM
Обучение персонала, монтаж и пуск в эксплуатацию		70000 DM
Расчет общей стоимости		
<i>Приготовление материала</i>		304360 DM
<i>Экструзия (главные профили)</i>		741340 DM
<i>Экструдерные фильеры</i>		852940 DM
<i>Подготовка охлаждающей жидкости</i>		204850 DM
<i>Дробилка профилей</i>		89220 DM
<i>Ввод в эксплуатацию и обучение персонала</i>		70000 DM
Итоговая сумма		2262710 DM

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НОРМ РАСХОДА
ПЛАСТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

1. *Норма расхода пластмассы и ее нормообразующие (составные) элементы*

1.1. Норма расхода пластических материалов – это максимально допустимое их количество, необходимое для производства единицы продукции установленного качества с учетом планируемого уровня техники, технологии и организации производства.

1.2. В общем случае норма расхода пластмассы в исходном состоянии (до переработки) на единицу продукции определяется по формуле

$$N_p = P_0 + P_{\text{ТВ}} + P_{\text{ТБВ}}, \quad (1)$$

где N_p – норма расхода пластического материала в исходном состоянии (до переработки в изделие); P_0 , $P_{\text{ТВ}}$, $P_{\text{ТБВ}}$ – составные элементы нормы, в том числе P_0 – масса изготовленной единицы продукции (без учета массы арматуры), $P_{\text{ТВ}}$ – возвратные технологические отходы пластического материала в исходном состоянии, $P_{\text{ТБВ}}$ – безвозвратные технологические потери и отходы пластического материала в исходном состоянии.

1.3. Возвратные технологические отходы $P_{\text{ТВ}}$ (литники, первые отливки при выходе на технологический режим или на размер по формедублиру, отходы при переходе обработки пластмассы одного цвета на другой, отходы при очистке оборудования и т.д.) представляют собой материал, годный для дальнейшего использования на данном или других предприятиях.

1.4. Безвозвратные технологические потери пластического материала (угар, усушка, улетучивание, при таблетировании, подготовке к использованию возвратных отходов, механообработке и др.) и безвозвратные технологические отходы (облой, первые отливки и запрессовки, слитки при переходе с одного цвета на другой и с одного материала на другой) представляют собой потери или отходы материалов, которые не могут быть полезно использованы для производства продукции на данном или других предприятиях.

При переработке пластических масс в изделие необходимо предусматривать их экономное расходование.

Нормы расхода должны совершенствоваться по мере развития технологического прогресса и отражать планируемый уровень снижения материальных затрат на продукцию при соблюдении требований ее качества, эксплуатационной надежности.

Важнейшие мероприятия экономии:

- сокращение технологических отходов и потерь материалов в процессе их переработки (в том числе брака);
- усовершенствование оснастки;
- выбор оптимального метода, режима переработки и оборудования;
- максимальное использование возвратных отходов.

1.5. В норму расхода пластических материалов на единицу продукции серийного и массового выпуска не должны включаться:

- потери при транспортировке и хранении;
- затраты, обусловленные применением некачественного материала, брак продукции;
- затраты на испытание образцов;
- затраты на ремонт и изготовление оборудования, оснастки, средств механизации.

2. Определение величины составных элементов нормы

2.1. Масса изготовленной единицы продукции (чистая масса) определяется на основе теоретических расчетов по чертежу или путем взвешивания не менее 25 годных единиц продукции и последующим определением средней величины их массы с точностью:

- при массе до 100 г – до 0,002 г,
- при массе до 1000 г – до 0,02 г,
- при массе свыше 1000 г – до 0,1 г.

При получении после прессования заготовок, а не готовых изделий по чертежу, за массу единицы продукции при расчете нормы принимается масса заготовки, определяемая взвешиванием.

2.2. Возвратные технологические отходы пластического материала в исходном состоянии $P_{ТВ}$ определяются по формуле

$$P_{ТВ} = P_0 K_{во}, \quad (2)$$

где P_0 – масса единицы продукции, $K_{во}$ – коэффициент возвратных отходов, характеризующий отношение количества возвратных отходов к массе (чистая масса) единицы продукции (детали, изделия).

2.3. Безвозвратные технологические потери и отходы пластического материала в исходном состоянии $P_{тбв}$ определяются по формуле

$$P_{тбв} = P_0 (K_{бп} + K_{бo}), \quad (3)$$

где P_0 – масса единицы продукции, $K_{бп}$ – коэффициент безвозвратных потерь, $K_{бo}$ – коэффициент безвозвратных отходов.

3. Расчет нормы расхода пластмассы

3.1. Норма расхода пластического материала в исходном его состоянии (до переработки) на единицу изготавливаемой продукции рассчитывается по формулам:

$$H_p = P_0 K_p \text{ – без использования возвратных отходов;} \quad (4)$$

$$H_p = P_0 K_{рв} \text{ – с учетом использования возвратных отходов,} \quad (5)$$

где H_p – норма расхода материала в исходном состоянии, г/ед. продукции; P_0 – масса изготовленной единицы продукции, г; K_p – расходный коэффициент без учета использования возвратных отходов; $K_{рв}$ – расходный коэффициент с учетом использования возвратных отходов.

4. Нормы расчета пластических материалов при производстве труб

4.1. Расходные нормы на 1000 погонных метров труб из полиэтилена (ГОСТ 18599-73) и на трубы из пластифицированного ПВХ (ТУ 6-05-1646-73) установлены в зависимости от типа, серии и наружного диаметра (табл. 3).

4.2. При расчете норм расхода на трубы из полиэтилена и ПВХ использовались расходные коэффициенты (K_p), соответственно равные 1,052 и 1,063, величина элементов которых приводится в табл. 1.

Таблица 1

Нормы расхода

Материал	Технологические безвозвратные потери					Возвратные отходы $K_{во}$	Расходный коэффициент K_p
	Угар, летучие $K_{бу}$	Подготовка материала $K_{бл}$	Резка труб и зачистка заусенцев $K_{бм}$	Потери при работе в верхнем поле допуска $K_{бд}$	Всего $K_{бл}$		
Полиэтилен	0,0015	–	0,001	0,0095	0,012	0,040	1,052
ПВХ	0,004	0,009	0,001	0,012	0,026	0,037	1,063

Таблица 2

Нормы расхода полиэтилена на производство 1 тонны пленки

Толщина пленки ГОСТ 10354-73, мм	Нормы расхода на 1 тонну пленки, кг/т
0,015	1030
0,020	1020
0,030	1010
0,035	1009
0,040	1008
0,050	1007
0,060	1006
0,070; 0,080	1006
0,1	1006
0,12	1006
0,15	1006
0,2; 0,25; 0,3; 0,4; 0,5	1006

Примечания: 1. Настоящие нормы заимствованы из утвержденной 17.03.1976 г. Инструкции нормирования расходов сырья в промышленности переработки пластмасс № 13-5-80/3378, разработанной НПО «Пластик» Минхимпрома.

2. Указанные нормы установлены опытным путем с учетом анализа рекомендаций материалов, анализа безвозвратных потерь и отходов (летучие, угар, выход на режим, переход с цвета на цвет, чистка целевого зазора, смена сеток фильтрующих и др.).

Таблица 3

Нормы расхода полиэтилена на 1000 погонных метров
полиэтиленовых труб (кг)

Сред- ний наруж- ный диа- метр, мм	Полиэтилен высокой плотности (ПЭНД, ПЭСД)				Полиэтилен низкой плотности (ПЭВД)			
	Типы				Типы			
	Легкая (Л)	Сред- нелег- кая (СЛ)	Сред- няя (С)	Тя- желая (Т)	Лег- кая (Л)	Сред- нелег- кая (СЛ)	Сред- няя (С)	Тя- желая (Т)
10	-	-	-	54,7	-	-	-	52,6
12	-	-	-	68,4	-	-	-	66,3
16	-	-	-	95,7	-	-	92,6	117,8
20	-	-	-	124,1	-	-	129,4	184,1
25	-	-	158,9	178,8	-	153,6	199,9	284,0
32	-	-	207,2	296,7	200,9	234,6	325,1	463,9
40	-	263	296,7	456,6	254,6	366,157	499,7	669,1
50	-	332,4	467,1	705,9	377,7	6,5	773,2	1125,6
63	422,9	515,6	729,0	1115,1	595,4	897,4	1241,4	1767,4
75	507,1	716,4	1024,6	1578,0	850,0	1272,9	1746,3	2503,8
90	664,9	1023,6	1462,3	2240,8	1199,3	1820,0	2514,3	3608,4

Сред- ний наруж- ный диа- метр, мм	Полиэтилен высокой плотности (ПЭНД, ПЭСД)				Полиэтилен низкой плотности (ПЭВД)			
	Типы				Типы			
	Легкая (Л)	Сред- не- легкая (СЛ)	Сред- няя (С)	Тяже- лая (Т)	Лег- кая (Л)	Сред- нелег- кая (СЛ)	Сред- няя (С)	Тя- желая (Т)
110	998,3	1535,9	2188,2	3334,8	1809,4	2703,6	3734,6	5396,8
125	1293,9	1988,3	2808,8	4313,2	2324,9	3482,1	4807,6	6964,2
140	1620,1	2440,6	3534,7	5428,3	2914,0	4344,8	-	-
160	2114,5	3198,1	4586,7	7069,4	3818,0	5691,3	-	-
180	2609,0	4060,7	5775,5	8899,9	-	-	-	-
200	3229,6	4965,4	7164,1	10940,8	-	-	-	-
225	4050,2	6301,5	9047,2	13886,4	-	-	-	-
250	4997,0	7795,3	11151,21	17147,6	-	-	-	-
280	6322,5	9699,4	3991,6	21460,8	-	-	-	-
315	7932,1	12308,4	17673,6	-	-	-	-	-
355	10088,7	15569,6	22302,4	-	-	-	-	-
400	12729,2	19672,4	28404,0	-	-	-	-	-
450	16095,6	24932,4	35768,0	-	-	-	-	-
500	19777,6	30718,4	-	-	-	-	-	-
560	24932,4	38608,4	-	-	-	-	-	-
630	31454,8	48707,6	-	-	-	-	-	-

Таблица 4

Расчетная масса 1 м² полиэтилентерефталатной пленки (ГОСТ 24234-80)

Номинальная толщина, мкм	Масса 1 м ² , г	Площадь 1 кг пленки, м ²
	Предельные отклонения ±10 %	
3	4,0	250,0
4	5,6	180,0
5	7,0	145,0
6	8,0	125,0
8	11,2	90,0
10	14,0	72,0
12	16,7	60,0
15	21,0	48,0
20	28,0	36,0
25	35,0	29,0
35	49,0	21,0
50	70,0	14,3
100	140,0	7,2
125	175,0	5,7
180	280,0	3,6
250	350,0	2,9

Таблица 5

Нормы расхода ПВХ на 1000 погонных метров труб (кг)

Средний наружный диаметр, мм	ТИП			
	Легкая (Л)	Среднелегкая (СЛ)	Средняя (С)	Тяжелая (Т)
10	-	-	-	47,8
12	-	-	-	58,5
16	-	-	-	92,5
20	-	-	-	143,4
25	-	-	180,7	200,6
32	-	-	276,4	361,0
40	-	350,8	393,9	552,7
50	-	446,4	584,6	850,4
63	-	595,3	903,5	1360,6
75	680,3	807,9	1286,2	1924,0
90	818,5	1190,2	1849,6	2763,7
110	1211,8	1722,0	2763,7	4124,3
125	1562,4	2253,5	3550,3	5314,8
140	1955,9	2785,0	4421,9	6643,6
160	2529,9	3646,0	5803,8	8684,4
180	3188,9	4623,9	7292,0	-
200	3933,0	5708,1	9024,6	-
225	4964,1	7153,8	11480,0	-
250	6005,8	9801,4	14081,2	-
280	7525,0	11054,9	-	-
315	9513,6	13924,9	-	-
335	12117,8	17751,6	-	-
400	15413,0	22428,6	-	-

Приложение 5

Таблица 1

Действительные годовые фонды работоспособности технологического оборудования

Продукция	Оборудование	Режим работы	Число часов работы в сутки	Номинальный фонд при 41- и 36-часовой рабочей неделе (ч)	Потери времени от номинального фонда (%)		Действительный фонд работы оборудования, ч	Использование оборудования, % от номинального фонда
					на ремонт оборудования	на технологические простои оборудования		
<i>Пленки полимерные</i> Полиэтиленовые	Агрегаты для производства рукавной пленки	Непрерывный	24	8570	5,3	6,3	7570	88,4
<i>Трубы из термопластов</i> Полиэтиленовые	Агрегаты для производства труб	То же	24	8570	5,0	8,8	7400	88,4
Поливинилхлоридные	То же	>>	24	8570	3,7	9,9	7400	88,4
<i>Листы из термопластов</i>	>>	>>	24	8570	8,8	5,7	7490	85,7

Примечание. Отраслевые технологические нормы уточняются на предприятиях в период практики.

Таблица 2

Площади, необходимые для размещения основного
технологического оборудования

Производство	Основное технологическое оборудование	Необходимая площадь зала на ед. оборудования, м ²
Полиэтиленовой пленки методом раздува	Агрегат для производства пленки в экструдере с диаметром шнека, мм	
	45	50
	63	65
	90	80
	125	120
Труб из полиолефинов	160	250
	Линия для производства труб в экструдере с диаметром шнека, мм	
	63	200
	90	225
	125	270
	160	325

Таблица 3

Соотношение производственных и вспомогательных площадей
производств по переработке пластмасс (%)

Отделение	Производство	
	труб и соединительных частей из поливинилхлорида	пленки из полиэтилена низкой плотности
Основной рабочий зал	40 – 42	48 – 50
Механическая обработка, сборка	3 – 5	3 – 5
Комплектование и упаковка готовой продукции	8 – 10	8 – 10
Подготовка сырья и переработка отходов	8 – 10	8 – 10
Складирование сырья, в том числе силосное хранение	8 – 10	8 – 10
Складирование готовой продукции и хранение	15	9 – 10
Прочие (вентиляционные камеры, подстанции, кладовые, слесарные мастерские и др.)	18 – 24	8 – 24

Приложение 6

Таблица 1

Технические характеристики оборудования для производства полиэтиленовых пленок

Наименование	Тип, марка	Диаметр червяка экструдера	Отношение длины червяка к диаметру (L/D)	Характеристика пленок		Глубина фальцовки пленки, мм	Установлен- ная мощ- ность, кВт		Габариты (L×B×H), мм	Масса, кг	Скорость намотки (механическая), м/мин
				Толщина, мм	Ширина сложен- ного ру- кава, мм		Электро- двигате- лей	Электро- нагрева- телей			
Линия для про- изводства ру- кавной пленки	ЛРП-45-700М	45	25	0,02 – 0,15	200 – 700	80	67,0	7,2	5000×4500× ×4500	6370	до 60
Линия для про- изводства ру- кавной пленки	ЛРП-63-1000М	63	30	0,02 – 0,20	300 – 1000	80	64,9	27,7	7000×3500× ×5600	8765	до 80
Агрегат для про- изводства рукав- ной пленки	УРП-1500-2	90	20	0,03 – 0,20	1000 – 1500	-	59,6	-	7000×3500× ×5000	4475	3 – 28
Линия для про- изводства ру- кавной пленки	ЛРП-160-3000	160	20	0,08 – 0,25	2000 – 3000	-	166,2	92,9	11000×5500× ×9340	32617	2 – 20
Линия для про- изводства ру- кавной пленки	ЛРП-160-3000М	160	25	0,08 – 0,25	При фальцовке – 2000,						

Окончание табл.1

Наименование	Тип, марка	Диаметр червяка экструдера	Отношение длины червяка к диаметру (L/D)	Характеристика пленок		Глубина фальцовки пленки, мм	Установлен- ная мощ- ность, кВт		Габариты ($L \times B \times H$), мм	Масса, кг	Скорость намотки (механическая), м/мин
				Толщина, мм	Ширина сложенного рукава, мм		Электродви- гателей	Электрона- гревателей			
Линия для про- изводства ру- кавной пленки Комплект обо- рудования для производства термоусадочной пленки Линия для про- изводства двух- слойной (ПЭ- ПЭ) рукавной пленки	ЛРП-250-6000	250	30	0,1 – 0,3	при скла- дывании пополам – 3000, при скла- дывании пополам – 3000	500	229,3	98,5	13000×7100× ×9070	33250	3 – 30
	На базе ЛРП-160-3000	160	20	0,1 – 0,2	2000 – 2800	-	607,9	377,7	21000×17700 ×19000	140000	2,5– 50
	ЛРП-63/63-1000	63	25	0,09	650 – 1000	-	98,8	42,2	7000×5100× ×5830	16400	3 – 30

Таблица 2

Производительность оборудования для производства пленок
из ПЭНП методом экструзии с раздувом*

Тип, марка оборудования	Характеристики пленки		Производи- тельность, кг/ч		
	Толщина, мм	Ширина рукава, мм			
ЛРП-45-700М	0,02	700	45		
		600	40		
		500	38 – 40		
		350	30		
		200	25		
		700	65		
	0,15	600	55		
		500	45 – 50		
		350	32 – 35		
		200	30		
		ЛРП-63-1000М	0,02 – 0,2	1000	До 120
			УРП-1500-2	0,03 – 0,2	1500
0,025	1500			100	
УРП-1500-3	0,10	1500	140		
	0,15	1500	150		
	0,25	1500	160		
	ЛРП-160-3000	0,08 – 0,20	3000	150 – 350	
ЛРП-160-3000М		0,08 – 0,12	3000	350 – 450	
	0,12 – 0,18	3000	500 – 550		
	0,18 – 0,25	3000	450 – 500		
ЛРП-250-6000	0,10	6000	800		
	0,20	6000	1000		
	0,30	6000	1200		
Агрегат на базе					
ЛРП-160-3000**	0,08 – 0,2	3000	200 – 300		
ЛРП-63/63-1000	0,09	1000	100		

* Составлена по паспортным данным оборудования.

** Для производства термоусадочной пленки.

Технические характеристики линий для производства труб из полиэтилена

Тип, марка линии	Диаметр червяка*	Номенклатура выпускаемых труб (наруж- ный диаметр, мм)	Перерабатываемый материал	Установленная мощность, кВт		Габариты $L \times B \times H$, мм	Масса, кг
				Электро- двигате- лей	Электро- нагрева- телей		
ЛТ20-1/10	20	1 – 10	Полиолефины	3,7	2,9	1400×900×18500	3390
ЛТ45-6/20	45	10 – 25	Полиолефины, поли- винилхлорид	37,0	10,7	30750×1500×2800	6080
ЛТ63×25-25/63	63	25 – 63	Гранулированные по- лиолефины, непла- стифицированный ПВХ	84,8	34,4	40650×2530×2830	8210
ЛТМ63×25-25/63	63	25 – 63	Полиэтилен	73,2	32,1	37700×2570×3200	13700
ЛТ90×25-75/160	90	75 – 160	Гранулированные по- лиолефины, непла- стифицированный ПВХ	84,8	54,6	50700×3550×3900	14285
ЛТ125×25-140/400	125	140 – 400	ПЭВП и ПЭНП	212,4	105,9	48800×2070×4835	34500
ЛТ160-400/800	160	140 – 800	ПЭВП	292,6	202,5	67500×3200×4250	46500

- Число червяков – один, отношение длины червяка к диаметру $L/D = 25$.

Таблица 4

Производительность оборудования при изготовлении труб из ПЭНП

Диаметры труб, мм	Производительность, кг/ч		
	ЛТ45-6/20	ЛТ63×25-25/63	ЛТ90×25-75/160
10 – 12	15	-	-
16 – 25	32	35	-
32 – 50	-	62	-
63 – 90	-	85	90
110 – 160	-	-	110
Производительность по паспортным данным	До 65	До 150	До 300

Таблица 5

Производительность оборудования при изготовлении труб из ПЭВП

Диаметры труб, мм	Производительность, кг/ч			
	ЛТ63×25- 25/63	ЛТ90×25- 75/160	ЛТ125×25- 140/400	ЛТ160×25- 400/800
32 – 50	70	-	-	-
63 – 90	90	115	-	-
110 – 160	-	140	250	-
180 – 400	-	-	280	385
450 – 630	-	-	-	400
Производительность по паспортным данным	До 150	До 300	До 350	До 500

Таблица 6

Технические характеристики оборудования для производства листов из термопластов*

Наименование	Тип, марка	Размеры листов, мм		Установленная мощность, кВт	Габариты ($L \times B \times H$), мм	Масса, кг
		толщина	ширина			
Агрегат для производства листов из ударопрочного полистирола	АЛ-1500	0,6 – 6	1500	260	18000×5400×3780	27263
То же	АЛ-1500-2	1 – 10	1100 – 1450	360	17500×5500×3780	25000
Линия для производства двух-слойных двухцветных листов из ударопрочного полистирола и АБС	АЛ-90-50-1000	2 – 16	800 – 1080	334	19050×6700×2865	25500
Линия для производства листов из непластифицированного порошкообразного ПВХ	АЛ-125-1500	1 – 12	1500	248	23570×6000×2750	43700
Агрегат для производства листов из гранулированного ударопрочного полистирола, пластифицированного ПВХ	АЛ-20-150	0,4 – 2,0	150	14,5	3320×2700×2035	1820
Линия для производства листов из поликарбоната		0,5 – 5,0	800	170	15460×4000×9320	18500
Линия для производства рулонных материалов из ударопрочного полистирола	АРМ-90-1000	0,4 – 1,4	1000	125	7350×4000×3620	10758

* По данным каталога

Таблица 7

Технические характеристики раздувных агрегатов

Показатель	Объем изделия, л							
	0,1	1	5	10	50	100	250	500
Диаметр червяка, мм	32	45	63	63	63	90	90	90
Частота вращения червяка, мин ⁻¹	15 – 40	20 – 40	20 – 140	25 – 100	25 – 100	25 – 100	25 – 100	25 – 100
Давление сжатого воздуха для раздува заготовки, МПа	0,4	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,8	1
Усилие смыкания полуформ, кН	7	8	35	55	215	310	570	620
Расстояние между плитами, мм	200	170 – 290	200	200 – 550	550	440 – 550	700	40 – 1600
Объем копильника, л	-	-	-	1,3	7,5	7,5	10,25	20
Расстояние между колоннами, мм:								
по горизонтали	300	250	290	400	350	700	740	1000
по вертикали	170	180	300	300	600	900	980	1000
Мощность обогрева копильника и головки, кВт	1,5	6,0	9,6	10,5	19,0	38,0	52,0	52,0
Габаритные размеры, мм	2900×2000× ×2400	2600×2500× ×2000	3000×2000× ×1600	4500×3600× ×2700	6100×4750× ×3650	5500×5000× ×4600	5700×5500× ×4950	5600×5600× ×8700
Масса агрегата, т	1,3	2,0	2,5	5,0	8,3	15	20	18,5

Технические характеристики экструзионных агрегатов для гранулирования пластмасс

Тип агрегата	Тип экструдера	Вид перерабатываемого материала	Производительность, т/ч	Мощность, кВт		Габаритные размеры, м	Масса, т
				электро-двигателей	нагревателей		
АПОТ–63	ЧПСк63×20	Отходы пленки из ПЭНП и ПЭВП	0,03	26,3	14	6,8×1,9×3,7	3,6
АПОТ–9013	ЧПСп90×20	Отходы капрона	0,1	86,0	46	12,5×2,9×3,6	9,2
АПОТ–90	ЧПСп90×20	Отходы лавсановой пленки	0,1	82,8	29	12,4×2,9×3,6	9,2
АГП–125	ЧПГ125×20	Суспензионный ПС	0,2	86,0	11	9,6×2,3×2,6	8,5
АГП–200	ЧПГ200×5	Ударопрочный ПС	0,2	37,1	25	8,2×1,9×3,9	9,3
UWG–15	КЕ250×12	ПЭНП, поступающий в виде расплава из реактора	3,0	380	Масля- ный обогрев	–	–
UWG–30	КЕ350×12	То же	10	780	То же	–	–
UWG–60	КЕ600×12	» »	25	2450	» »	–	–

Примечание. UWG – агрегаты фирмы «Беритофф» (Германия).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Торнер Р.В., Акутин М.С.** Оборудование заводов по переработке пластмасс. – М.: Химия, 1986. – 400 с.
2. Энциклопедия полимеров / Под ред. В.А. Кабанова и др. – М.: СЭ, 1977. – Т.3. – 1152 с.
3. **Шембель А.С., Антипина О.М.** Сборник задач и проблемных ситуаций по технологии переработки пластмасс: Учеб. пособие для техникумов. – Л.: Химия, 1990. – 272 с.
4. Основы технологии переработки пластмасс: Учеб. для вузов / **С.В. Власов, Э.А. Калинин, Л.Б. Кандырин и др.** – М.: Химия, 1995. – 528 с.
5. **Рябинин Д.Д., Лукач Ю.Е.** Смесительные машины для пластмасс и резиновых смесей. – М.: Машиностроение, 1972. – 272 с.
6. Машины и аппараты химических производств. Примеры и задачи: Учеб. пособие для студентов вузов / Под общ. ред. **В.Н. Соколова.** – Л.: Машиностроение, 1982. – 384 с.
7. **Завгородний В.К.** Механизация и автоматизация переработки пластических масс. – М.: Машиностроение, 1970. – 565 с.
8. **Бортников В.Г.** Основы технологии переработки пластических масс. – Л.: Химия, 1983. – 328 с.
9. **Торнер Р.В.** Теоретические основы переработки полимеров (механика процессов). – М.: Химия, 1977. – 464 с.
10. **Оленев Б.А., Мордкович Е.М., Калошин В.Ф.** Проектирование производств по переработке пластических масс. – М.: Химия, 1982. – 256 с.
11. Оборудование для переработки пластмасс: Справ. пособие/ Под ред. **В.К. Завгороднего.** – М.: Машиностроение, 1978. – 192 с.
12. **Самойлов А.В.** Тепловые расчеты червячных и валковых машин. – М.: Машиностроение, 1978. – 192 с.
13. **Калинчев Э.Л., Саковцева М.Б.** Выбор пластмасс для изготовления и эксплуатации изделий: Справ. – Л.: Химия, 1987. – 416 с.
14. **Калинчев Э.Л., Саковцева М.Б.** Свойства и переработка термопластов: Справ. пособие. – Л.: Химия, 1983. – 288 с.
15. **Бернхардт Э.** Переработка термопластичных материалов. – М.: Химия, 1965. – 747 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	3
1.1. Устройство экструдера	3
1.2. Процессы, происходящие при экструзии	8
1.3. Экструзионные установки. Краткая характеристика основного оборудования. Виды брака	18
1.3.1. Изготовление рукавной пленки	18
1.3.2. Изготовление плоских пленок и листов	21
1.3.3. Изготовление труб, шлангов, профилей	24
Контрольные вопросы и задания	25
2. РАСЧЕТЫ	27
2.1. Материальный баланс	29
2.2. Расчет экструдеров	33
2.3. Примеры расчета технологических и конструктивных параметров типовых стадий экструзионных установок	35
2.3.1. Грануляция	35
2.3.2. Изоляция проводов и кабелей	40
2.3.3. Производство пленок и листов	41
2.3.4. Производство экструзионно-выдувных (полых) изделий	42
2.3.5. Пример. Расчет экструдера для производства профилей из жесткого ПВХ	47
2.3.6. Производительность двухчервячных машин для пластмасс	62
ПРИЛОЖЕНИЯ	64
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	93

Учебное издание

Составители

КУДРЯВЦЕВА Зоря Андреевна

ЕРМОЛАЕВА Елена Вадимовна

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВ
ПО ПЕРЕРАБОТКЕ ПЛАСТМАСС МЕТОДОМ ЭКСТРУЗИИ

Учебное пособие к выполнению курсового и дипломного проектов

Редактор Е.А. Амирсейидова

Корректор В.В. Гурова

Компьютерная верстка Е.Г. Радченко

ЛР № 020275. Подписано в печать 01.12.03.

Формат 60×84/16. Бумага для множит. техники. Гарнитура Таймс.

Печать на ризографе. Усл. печ. л. 5,58. Уч.-изд. л. 5,88. Тираж 100 экз.

Заказ

Редакционно-издательский комплекс

Владимирского государственного университета.

600000, Владимир, ул. Горького, 87.