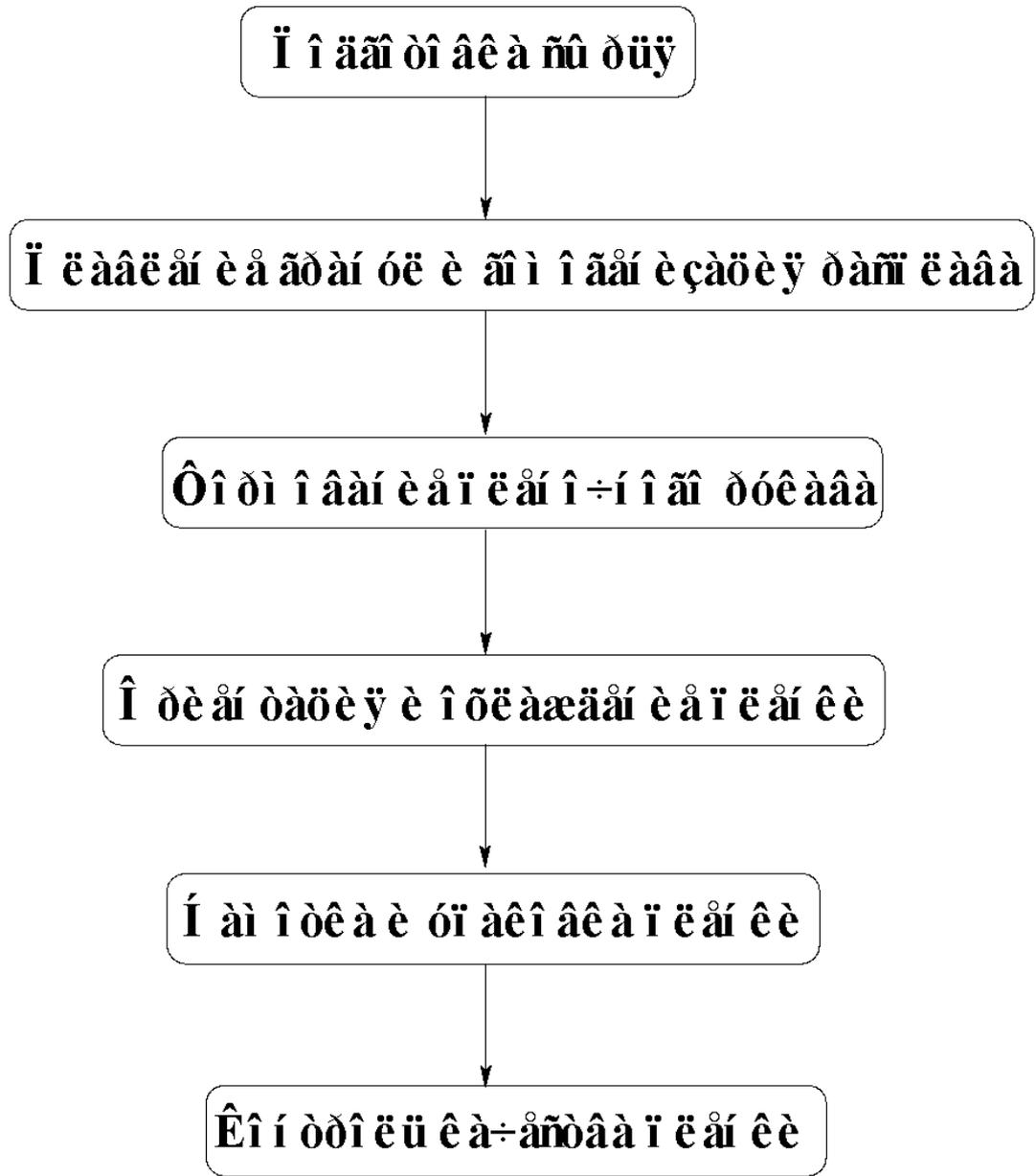


**Технология производства пленок.  
Свойства полимерных  
пленочных материалов,  
модификация, применение**

**Пленки** – плоские полимерные материалы толщиной от нескольких микрометров до 0,25 мм (250 мкм) (в Японии не более 0,1 мм). Изделия бóльшей толщины относятся к **листам** или **пластинам**.



# Технологические операции процесса производства



# Различные способы отвода рукава при получении пленки

Способ	Преимущества и недостатки
<b>Отвод рукава вверх</b>	<p>П1. Экономия производственных площадей.</p> <p>П2. Возможна большая толщина пленок, так как рукав принимается тянущими валками.</p> <p>Н1. Поворот потока расплава на 90° в головке повышает стоимость изготовления оснастки.</p>
<b>Отвод рукава в горизонтальном направлении</b>	<p>П1. Значительное снижение стоимости формующей головки, более равномерный выход потоков расплава из формующей части по всему периметру.</p> <p>Н1. Рукав будет иметь большую разнотолщинность.</p> <p><b>Пояснение:</b> поскольку тепловые потоки движутся снизу вверх, при остывании и деформировании экструдата его верхняя часть будет иметь более высокую температуру, что приведет к большей вытяжке и раздуву этой части пленки.</p> <p>Н2. При получении толстых пленок рукав прогибается под действием силы тяжести, что приводит к его обрыву либо к большой разнотолщинности.</p>
<b>Отвод рукава вниз</b>	<p>П1. Позволяет использовать ту же угловую головку, что и при схеме отвода вверх.</p> <p>П2. Применим к получению тонких пленок.</p> <p><b>Пояснение:</b> при получении толстых пленок наблюдается значительная самопроизвольная вытяжка экструдата вплоть до обрыва под действием силы тяжести пленочного рукава.</p>
<b>Прием рукава в воду (для ПВХ и ПП)</b>	<p>П1. Резко уменьшается время охлаждения рукава, процесс ускоряется.</p> <p>П2. При быстром охлаждении расплава происходит большая аморфизация кристаллизующихся полимеров.</p> <p>Н1. Применение охлаждающей циркуляционной воды и соответствующего оборудования удорожает установку.</p>

## **Сырье для получения пленок**

Выбор сырья обусловлен требованиями к готовой продукции, однако чаще всего для экструзии пленок используют полиолефины (ПО) или полимеры виниловой группы.

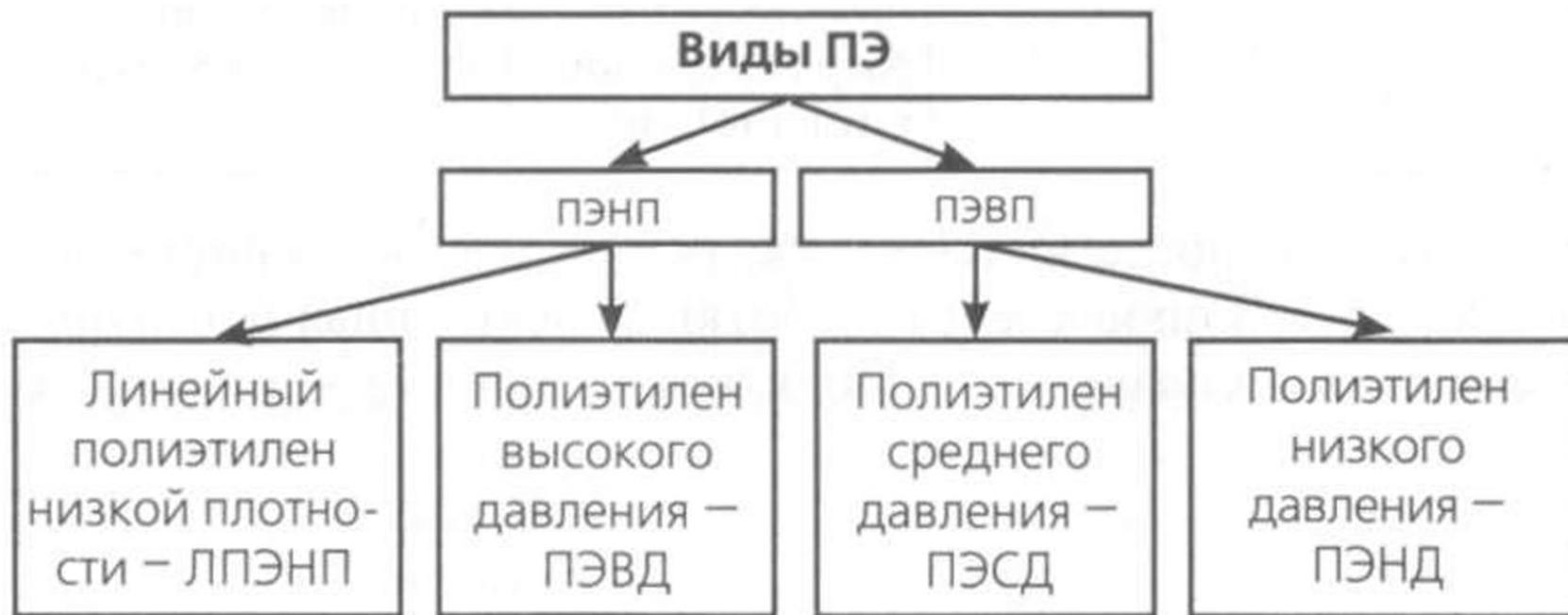
### **К полиолефинам относятся:**

- полиэтилен низкого давления (ПЭНД) (полиэтилен высокой плотности);
- полиэтилен высокого давления (ПЭВД) (полиэтилен низкой плотности);
- полипропилен (ПП);
- сополимер этилена и винилацетата (СЭВА);
- металлоценовые полиэтилены (МЦПЭ);
- металлоценовые полипропилены (МЦПП).

## **Другие полимеры для производства пленок:**

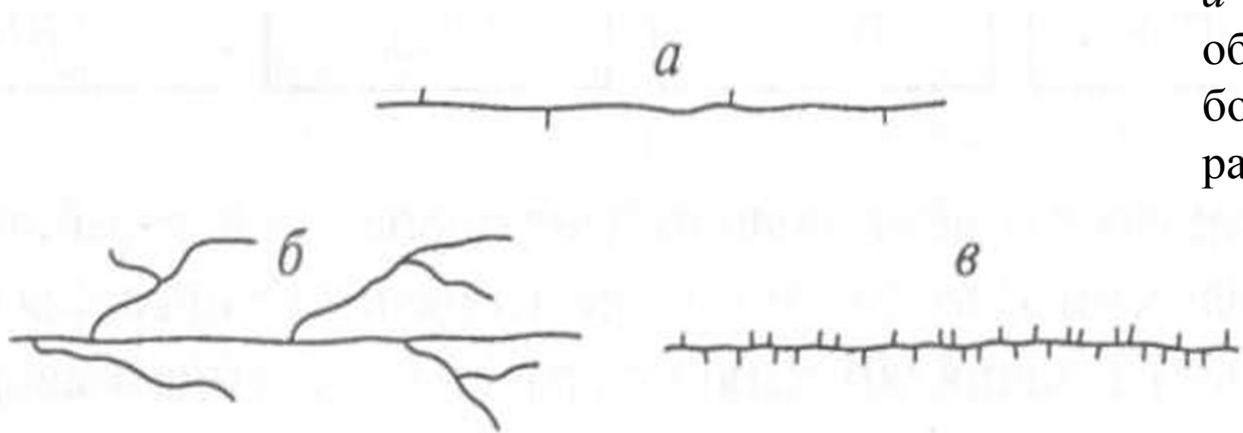
- поливинилхлорид
- поливинилиденхлорид
- сополимеры ВХ и ВА
- поливинилацетат
- поливиниловый спирт
- полистирол
- полиамиды
- поликарбонат
- полиэтилентерефталат
- фторполимеры
- полиуретаны
- полиимиды

Главная роль на мировом рынке гибкой упаковки принадлежит пленкам из полиэтилена (ПЭ). В зависимости от условий полимеризации различают три вида полиэтилена.



Указанные различия объясняются разным строением макромолекул.

Например, ПЭНП состоит из разветвленных макромолекул (поэтому называется полиэтиленом с разветвленной цепью), представляя собой мягкий и эластичный материал, ПЭСД и ПЭВП, имеющие линейное строение и довольно высокую степень кристалличности (85-90%), - жесткие продукты.



*a* (ПЭНП) – ветвление с образованием длинной боковой цепи (длинноцепная разветвленность);

*б* (ПЭВП) – линейная молекула, содержащая от 4 до 10 коротких боковых цепей на 1000 атомов углерода основной карбоцепи;

*в* (ЛПЭНП) – линейная молекула, содержащая от 10 до 35 коротких боковых цепей на 1000 атомов углерода основной карбоцепи.

# Свойства различных видов ПЭ и полученных из них пленок

Наименование	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Механические свойства	Примечания
Линейный полиэтилен низкой плотности (ЛПЭНП)	0,915-0,930	Средняя прочность и упругость	Высокопрозрачная блестящая пленка, экструдировается с трудом
Полиэтилен очень низкой плотности (ПЭОНП)	0,890-0,915	Жесткий, упругий, умеренная прочность	Высокопрозрачная, очень блестящая пленка, возможно получение очень тонких пленок
ПЭОНП с длинными ветвями	0,890-0,910	Жесткий, упругий, умеренная прочность	Легко перерабатывается, повышенная прочность расплава
Полиэтилен сверхнизкой плотности (ПЭСНП), пластомеры	<0,890	Эластичный, низкая прочность при растяжении, низкий модуль	Термопластичный эластомер, низкая температура и узкий интервал плавления, подходит для теплоизоляции
<b>Сравнение</b> Полипропилен (ПП)	0,900-0,910	Высокая прочность на разрыв, хрупкий, термостойкий	Высокопрочные, термостойкие, прозрачные блестящие пленки

# Полиэтилен низкой плотности (ПЭНП)

Пленки ПЭНП составляют 75% от общего объема термопластичных пленок, применяемых в упаковке. Предпочтение ПЭНП отдается благодаря их свойствам: инертности, прочности при низких температурах, стойкости к ударам и разрыву.

<i>Описание</i>	ПЭНП — полупрозрачный эластичный материал молочного цвета.
<i>Форма выпуска</i>	ПЭНП выпускают в виде гранул или порошков без добавок (базовые марки) и в виде композиций на основе базовых марок со стабилизаторами и другими добавками.
<i>Структура</i>	молекулы ПЭНП отличаются наличием как коротких, так и длинных боковых ответвлений. Типичный случай — 3 длинных ответвления и 30 коротких ветвей на молекулу. Молекулярная масса сравнительно низкая, а молекулярно-массовое распределение — широкое.
<i>Получение</i>	ПЭНП полимеризуется в радикальном процессе под высоким давлением. Существует два основных типа реакторов: автоклав и трубчатый реактор. Автоклавная полимеризация имеет тенденцию давать больше ветвлений и более широкое молекулярно-массовое распределение.
<i>Физико-механические свойства</i>	Низкая газо- и водопроницаемость (водопоглощение за 30 сут составляет не более 0,020%), холодостойкий, не ломкий, не опасен для здоровья, обладает хорошими диэлектрическими свойствами, не отличается размерной стабильностью, имеет высокую химическую и радиационную стойкость, легко перерабатывается. Температура плавления ПЭНП — 103–110 °С, плотность — 0,918–0,935 г/см <sup>3</sup> (по некоторым источникам — до 0,923 г/см <sup>3</sup> ), прочность при растяжении — 11,5–15,0 МПа, относительное удлинение при разрыве — 550–600%, разрушающее напряжение при изгибе — 12,0–20,0 МПа, предел текучести при растяжении — 9,5–14,0 МПа, секущий модуль эластичности — 90–215 МПа, максимальная температура эксплуатации 60 °С.
<i>Технологические характеристики</i>	Пленки из ПЭНП имеют относительно низкую разрывную прочность при растяжении, но хорошую ударную прочность. Они весьма прозрачны, т. е. имеют малую замутненность, и обладают глянцевой поверхностью.

*Температурные интервалы переработки*

Температурный интервал плавления ПЭНП широкий; пиковая температура плавления 110 °С. Наличие как коротких, так и длинных боковых ответвлений, которые препятствуют плотной упаковке и кристаллизации основных полимерных цепей, определило степень кристаллизации массы ПЭНП 50–60%.

*Взаимосвязь молекулярной структуры и поведения при переработке*

Склонность ПЭНП к снижению вязкости с увеличением скорости сдвига, а также прочность расплава (вязкость нулевого сдвига) способствуют переработке, поскольку для этого не требуются столь мощные приводы экструдеров.

При низких скоростях сдвига вязкость значительно возрастает (рис. 3), поэтому прочность расплава на выходе из кольцевого зазора высокая, что обуславливает более высокую прочность рукава при экструзии, повышение сопротивления разрыву и стабильность рукава.

Длинные ветви обеспечивают лучшее межмолекулярное зацепление при низкой скорости сдвига. При повышении скорости сдвига длинные ветви освобождаются из зацеплений, и вязкость значительно снижается.

*Изготовление пленок*

Пленки из ПЭНП получают методами экструзии с раздувом или щелевой экструзией.

*Марки полиэтилена, рекомендуемые к использованию*

Для производства рукавной пленки рекомендуется использовать полиэтилен марок 10803-020, 15803-020, 16204-020, 17603-020 и другие в соответствии с ГОСТ 16337–77, для композиций также ГОСТ 16336–77, ТУ 6-05-1866–78 (для порошка).

Существует два вида полиэтилена низкой плотности: полиэтилен высокого давления (ПЭВД) и линейный полиэтилен низкой плотности (ЛПЭНП), получаемый при низком давлении путем сополимеризации этилена с  $\alpha$ -олефинами. Первый получают с помощью инициаторов (кислород, перекиси), а второй – с применением катализаторов в твердом виде.

### **Линейный полиэтилен низкой плотности (ЛПЭНП)**

ЛПЭНП (*PE-LLD, LLDPE* - от *liner low density polyethylene*) применяется в основном для производства плоской и рукавной упаковочной пленки, а также емкостей и контейнеров, в том числе для пищевых продуктов.

<i>Описание</i>	Легкий эластичный кристаллизующийся материал с температурой размягчения по Вика до 118 °С. Из-за высокой кристалличности ЛПЭНП менее прозрачны, чем ПЭНП.
<i>Форма выпуска</i>	Гранулы.
<i>Структура</i>	Ответвления короткие, длинных ветвей нет.
<i>Получение</i>	ЛПЭНП получен химической модификацией ПЭНП.
<i>Физико-механические свойства</i>	<p>Основными преимуществами ЛПЭНП по сравнению с ПЭНП являются более высокая химическая стойкость, лучшие эксплуатационные характеристики как при низких, так и при высоких температурах, большой глянец поверхности, большая устойчивость к растрескиванию, более высокая (в 2–3 раза) прочность на разрыв и прокалывание, а также большее относительное удлинение при разрыве. Биологически инертен.</p> <p>Прочность при растяжении ЛПЭНП ниже, чем у ПЭВП, но выше, чем у ПЭНП. ЛПЭНП обладает лучшей, чем ПЭВП, ударной прочностью. ЛПЭНП имеет плотность в диапазоне 0,915–0,930 г/см<sup>3</sup>, при этом температура размягчения составляет 118 °С, что позволяет применять пленки ЛПЭНП для расфасовки горячих продуктов.</p>

*Технологические характеристики*

ЛПЭНП по своим характеристикам занимает промежуточное положение между ПЭНП и ПЭВП.

*Температурные интервалы переработки*

ЛПЭНП характеризуется широким молекулярно-массовым распределением (ММР), так что некоторые молекулы имеют лишь по несколько ответвлений, тогда как другие молекулы содержат множество ветвей. Это распределение находит отражение в широком интервале температуры плавления ЛПЭНП.

*Взаимосвязь молекулярной структуры и поведения при переработке*

По сравнению с ПЭНП их ответвления короткие, длинных ветвей нет, поэтому его механические свойства, зависящие от кристалличности, выше, а реологические свойства, существенные для переработки, ниже, чем у ПЭНП. Снижение вязкости с увеличением скорости сдвига не столь заметно по сравнению с ПЭНП.

*Изготовление пленок*

Для производства пленок из ЛПЭНП применяется специальное оборудование, в частности с измененной конструкцией шнека и величинами щелевых зазоров.

*Марки полиэтилена, рекомендуемые к использованию*

Для пленок используют марки, показатель текучести расплава (ПТР) которых находится в пределах 1,0–2,0 г/10 мин.

# Полиэтилен высокой плотности (ПЭВП)

Описание	ПЭВП — полупрозрачный высококристаллический полимер молочного цвета.
Форма выпуска	Выпускается в виде порошка (базовые марки), а композиции на основе базовых марок — как порошок или гранулы, содержащие стабилизаторы и другие целевые добавки.
Структура	ПЭВП имеет линейную структуру с небольшим числом ответвлений или вообще без них. Для контроля числа ответвлений в молекуле проводят сополимеризацию этилена с бутеном-1 или гексеном.
Получение	Обычно ПЭВП формируется с помощью катализатора Циглера–Натта, по методам компании <i>Phillips</i> и <i>Unipol</i> . Каждый процесс ведется при сравнительно низком давлении и катализируется металлоорганическим комплексом с переходным металлом.
Физико-механические свойства	<p>ПЭВП обладает высокой упругостью расплава, имеет хорошую стойкость к большинству органических и неорганических кислот, щелочей и солей. Недостаточно стоек к хлорированным углеводородам и материалам-окислителям. Плотность сополимеров — 0,945–0,950 г/см<sup>3</sup>, линейных гомополимеров — 0,960 г/см<sup>3</sup>, степень кристалличности — 75–90%.</p> <p>Температура плавления — 125–135 °С, температура размягчения по Вика — 120–125 °С, предел текучести при растяжении — 22–25 МПа, относительное удлинение при разрыве — 250–700%, модуль эластичности при изгибе — 680–850 МПа. Водопоглощение за 30 сут не более 0,03–0,04%. Максимальная температура эксплуатации 60 °С.</p>

## Разновидности ПЭВП -

полиэтилен сверхвысокой молекулярной массы (ПЭСВММ) с молекулярной массой порядка 1000000 г/моль и полиэтилен средней плотности (ПЭСП), в который вводится некоторое количество ответвлений сополимеризацией с 1-алкеном, например 1-бутеном.

ПЭСВММ обладает повышенной прочностью при растяжении благодаря своим более длинным молекулам, обеспечивающим большее число связующих цепей между кристаллами.

ПЭСП имеет лучшую ударную прочность из-за пониженной кристалличности. Пленки из этого материала чаще всего изготавливаются двумя способами: экструзией с раздувом или поливом.

### Технологические характеристики

Пленки на основе ПЭВП более жесткие, «шуршащие», прочные и менее воскообразные на ощупь, чем пленки из ПЭНП. Однако сопротивление удару и разрыву у них ниже. Влагонепроницаемость, стойкость к маслам и жирам у пленок из ПЭВП в 5–6 раз выше, чем у пленок из ПЭНП.

### Взаимосвязь молекулярной структуры и поведения при переработке

ПЭВП состоит из линейных молекул и по сравнению с ПЭНП имеет более высокую кристалличность, а потому проявляет более высокую прочность при растяжении. Это означает, что при высоких скоростях сдвига вязкость расплава высокая и усилие, требуемое для экструзии (пластикации), будет большим, следовательно, понадобится и более мощный привод экструдера.

При низких скоростях сдвига вязкость не увеличивается. Эта вязкость нулевого сдвига связана с прочностью расплава полимера. Если прочность расплава низкая, то расплавленная пленка, выходя из экструдера в виде рукава, быстро расширяющегося под воздействием раздува, может рваться. Для сопротивления разрыву и для создания стабильного по размеру рукава необходима высокая прочность расплава.

### Изготовление пленок

Переработку ПЭВП можно облегчить, смешав с другими полиэтиленами, в частности с ПЭНП, или применяя целевые добавки.

### Марки полиэтилена, рекомендуемые к использованию

Для получения тонких пленок из полиэтилена низкого давления (высокой плотности) рекомендуется марка PE 4FE 69 (производитель — ООО «Ставролен») или аналоги пленочных марок.

## Сополимеры этилена с винилацетатом (СЭВ)

Содержание винилацетата (ВА) в таких сополимерах колеблется в пределах **7-20%**. В целом же ВА-сополимеры можно рассматривать как модифицированный ПЭНП. При 15-20% винилацетата они более похожи на гибкий ПВХ с одним отличием - гибкость присуща их природе, а не обусловлена присутствием пластификатора, который затем может быть удален.

**По сравнению с ПЭВП СЭВ имеет более низкую температуру сварки, выше сопротивление проколу, большую эластичность, лучше смешивается с наполнителями, выше характеристики при печати и более высокие механические показатели при низких температурах.**

Пленки из СЭВ производятся на том же оборудовании, что и из ПЭВП, но из-за очень высокой эластичности требуется контроль их натяжения при намотке в рулон.

## Полиэтилен очень низкой плотности (ПЭОНП) и сверхнизкой плотности (ПЭСНП)

Полиэтилены очень низкой плотности ( $0,89-0,915 \text{ г/см}^3$ ) (ПЭОНП) и сверхнизкой плотности ( $<0,89 \text{ г/см}^3$ ) (ПЭСНП) характеризуются более высоким содержанием сополимеров. Из-за их свойств ПЭСНП называют также полиолефиновыми эластомерами (ПОЭ).

<i>Структура</i>	Макромолекулы ПЭОНП и ПЭСНП имеют множество коротких ветвей, расположенных вдоль основных цепей более равномерно, чем в ЛПЭНП, но в некоторых модификациях ветви могут быть и длинными. Короткие ветви не влияют на реологические свойства.
<i>Получение</i>	Эти полиэтилены появились на рынке недавно в результате применения новой технологии металлоценового катализатора, которая позволяет получить более узкие распределения сомономерного состава и молекулярной массы.
<i>Физико-механические свойства</i>	ПЭОНП и ПЭСНП по сравнению с другими полиэтиленами имеют более низкие температуры плавления, повышенную ударную прочность и эластичность, но меньшую прочность при растяжении.

## Полипропилен (ПП)

Полипропилены обладают множеством преимуществ перед полиэтиленами благодаря более высокой прочности, жесткости, твердости, термостойкости, прозрачности и глянцевой поверхности. Но также имеют меньшую ударную прочность, особенно при низких температурах (для базовых марок). Однако у модифицированных каучуком марок ПП прочность на удар выше, чем у ПЭВП.

Полипропилен особенно подходит для производства пленок с длительным сроком службы.

<i>Описание</i>	ПП представляет собой кристаллический полимер с температурой плавления 162–170 °С (что значительно выше, чем у ПЭВП). Обладает повышенной механической прочностью, большой водо- и химической стойкостью, хорошей прозрачностью (неокрашенные марки) и блеском.
<i>Форма выпуска</i>	Гранулы или порошок белого цвета, стабилизированный, окрашенный или неокрашенный
<i>Структура</i>	Неполярный кристаллизующийся полимер, содержание кристаллической фазы 73–75%.
<i>Получение</i>	Получают полимеризацией пропилена в присутствии металлоорганических катализаторов.
<i>Физико-механические свойства</i>	Имеет высокую стойкость к растрескиванию. ПП в несколько раз жестче ПЭ, имеет более низкую плотность (0,90–0,91 г/см <sup>3</sup> ) и более высокую температуру размягчения (110–135 °С).
	Прочность при растяжении — 29,0 МПа; предел текучести при растяжении — 21,6–30,4 МПа; относительное удлинение при разрыве — 300–700%; прочность на удар по Изоду на образцах с надрезом — 4,9–29,4 Дж/м <sup>2</sup> ; модуль упругости при растяжении — 1078–1127 МПа. Температура стеклования высокая (может быть 10° С, но это зависит от кристалличности и способа измерения), так что ударная прочность низкая.
	Температура хрупкости немодифицированных марок — от –8 до –15 °С; коэффициент линейного расширения — 1,60–1,10 × 10 <sup>-4</sup> °С <sup>-1</sup> ; удельная теплоемкость при 20–25 °С — 1,93 кДж/кг × °С; теплопроводность — 880 Вт/м × °С. Водопоглощение за 30 сут составляет 0,01–0,09%.

*Эксплуатационные характеристики*

Химическая устойчивость ПП, особенно по отношению к маслам и жирам, также более высокая, чем у ПЭ. Однако существенным недостатком этих пленок является низкое сопротивление удару при температуре ниже 0 °С.

Двухосноориентированные полипропиленовые пленки имеют в 4 раза большую прочность, глянец, прозрачность, меньшую мутность, улучшенные барьерные свойства и большее сопротивление удару при низких температурах по сравнению с поливинными пленками. Сопротивление на разрыв низкое, а также малое относительное удлинение при разрыве.

*Специфика переработки*

Паронепроницаемость у ПП-пленок несколько выше, чем у пленок из ПЭНП, но ниже, чем у пленок из ПЭВП. ПЭВП и полипропилен значительно различаются по прочности расплава. Если ПЭВП не меняет прочность расплава в широком диапазоне температур, то для полипропилена характерно снижение этой величины с возрастанием температуры расплава. Прочность расплава связана с вязкостью при растяжении и его эластичностью.

*Взаимосвязь молекулярной структуры и поведения при переработке*

ПП пригоден для формования пленки только в изотактической форме. Критичными факторами при производстве ПП пленки являются стабильность расплава (обеспечивает прочность пленки) и наличие, а также вид добавок (влияют на скольжение, слипание, прочность) УФ-стабилизаторов, антиоксидантов.

*Изготовление пленок*

Теплопроводность полипропилена ниже, чем полиэтилена, поэтому время охлаждения изделий из полипропилена удлиняется. Формоустойчивость рукава полипропилена в силу этого ниже, так как сила тяжести действует на расплав более продолжительное время, чем на полиэтилен, в связи с чем возникают проблемы обеспечения равномерности толщины стенки ПП пленок.

Характеристики расплава неидеальны для переработки экструзией с раздувом рукава, поэтому используется двухстадийная экструзия с раздувом.

ПП-пленки также получают методами плоскощелевой экструзии без ориентации (поливные пленки) или с последующей одноосной или двухосной ориентацией пленок. Поливные пленки из ПП по сравнению с пленками из ПЭ имеют лучшую прозрачность и глянец, в 2 раза большую прочность при растяжении, но в 2 раза более низкое сопротивление разрыву.

*Марки полипропилена, рекомендуемые к использованию*

Для производства пленок используют регулярный кристаллический ПП, известный как изотактический (ИПП) и имеющий плотную упаковку молекул. ИПП хорошо подходит для производства термостойкой глянцевой пленки. Для некоторых марок пленок в составе изотактического ПП необходимо наличие 6% активного нерегулярного ПП.

ИПП имеет более высокие прочность и температуру плавления, чем другие полиолефины. С помощью быстрого охлаждения и/или применения нуклеаторов можно добиться небольшого размера кристаллов и получить высокопрозрачную глянцевую пленку.

Для производства более эластичных пленок рекомендуется использовать синдиотактический полипропилен (СПП).

# Поливинилхлорид (ПВХ)

<i>Описание</i>	Поливинилхлорид (ПВХ) — термопласт, полученный полимеризацией винилхлорида, хлорзамещенного этилена.
<i>Форма выпуска</i>	Порошок, гранулы, пасты, пластизоли.
<i>Структура</i>	Аморфный, резко полидисперсен.
<i>Получение</i>	ПВХ получают в процессе суспензионной полимеризации в воде либо полимеризацией в массе. В результате последней образуется полимер, пригодный для производства высокопрозрачных слабоокрашенных пленок.
<i>Физико-механические свойства</i>	<p>Термостабильность низкая, поэтому необходимо добавлять комплекс стабилизаторов.</p> <p>Плотность пленок ПВХ составляет 1,35–1,41 г/см<sup>3</sup>, поэтому выход пленки из одинакового по массе количества сырья значительно меньше, чем у полиолефинов. ПВХ обладает большей паропроницаемостью, но газопроницаемость у него значительно ниже, чем у полиолефинов. Пленки ПВХ имеют хорошую стойкость к маслам, жирам, кислотам и щелочам.</p>
<i>Технологические характеристики</i>	Пленки свариваются высокочастотной сваркой, хорошо воспринимают печать, однако миграция пластификатора на поверхность пленок («выпотевание») может вызвать отторжение печати.
<i>Специфика переработки</i>	В связи с термической нестабильностью ПВХ при температурах переработки, сочетающейся с высокой вязкостью расплава, экструзионные процессы получения пленок из этого полимера затруднены и требуют тщательной проработки конструкций всей системы, чтобы исключить образование застойных зон.
<i>Изготовление пленок</i>	<p>Наиболее распространенными методами переработки ПВХ в пленки или листы являются вальцево-каландровый и экструзионный.</p> <p>Введение пластификаторов в состав композиций ПВХ позволяет получить пленки различных типов: твердые, мягкие, клейкие и эластичные. Также можно увеличить прозрачность и мягкость пленок, улучшить их свойства при низких температурах.</p> <p>Вводя в рецептуру различные добавки (в том числе в качестве обязательного компонента — стабилизаторы термодеструкции), получают жесткие, прозрачные и блестящие пленки с высокой прочностью при растяжении.</p> <p>Изменяя степень вытяжки, получают одноосноориентированные и равнопрочноориентированные пленки.</p>

# Общие рекомендации по изготовлению пленок

Свойства	Добавка	Процентное содержание	Примечания
<b>Окрашивание пленок</b>	Суперконцентраты (пленочные)	1,5-6,0% для ПЭВД и 1,5-5,0% для ПЭНД в зависимости от насыщенности добавки и ожидаемого результата	Температуры текучести суперконцентрата и полимера должны быть близки, в противном случае в пленке появятся агломераты, гелики, включения
<b>Замедление старения</b>	Антиоксиданты, светостабилизаторы или химическое модифицирование	Индивидуально	

Свойства	Добавка	Процентное содержание	Примечания
<b>Блеск и шелковистость</b>	Скользящая добавка	0,3 ± 1,0% в зависимости от вида добавки, толщины пленки и ожидаемого результата	Скользящая добавка окончательно проявляется на поверхности пленки через 12-24 ч. Излишнее содержание скользящей добавки может привести к расползанию рулонов пленки, снижению стойкости рисунка и затруднениям при сварке мешков. Недостаточное содержание скользящей добавки ухудшает качество пленки, поверхность декоративных мешков становится тусклой, не скользит, мешки не открываются, проявляется так называемый «резиновый эффект»
<b>Скольжение</b>	Антиблокирующая добавка	0,5-1,0%	Добавка предотвращает скольжение мешков при упаковке и транспортировке

# Рекомендации по составу композиций для экструзии рукавной пленки

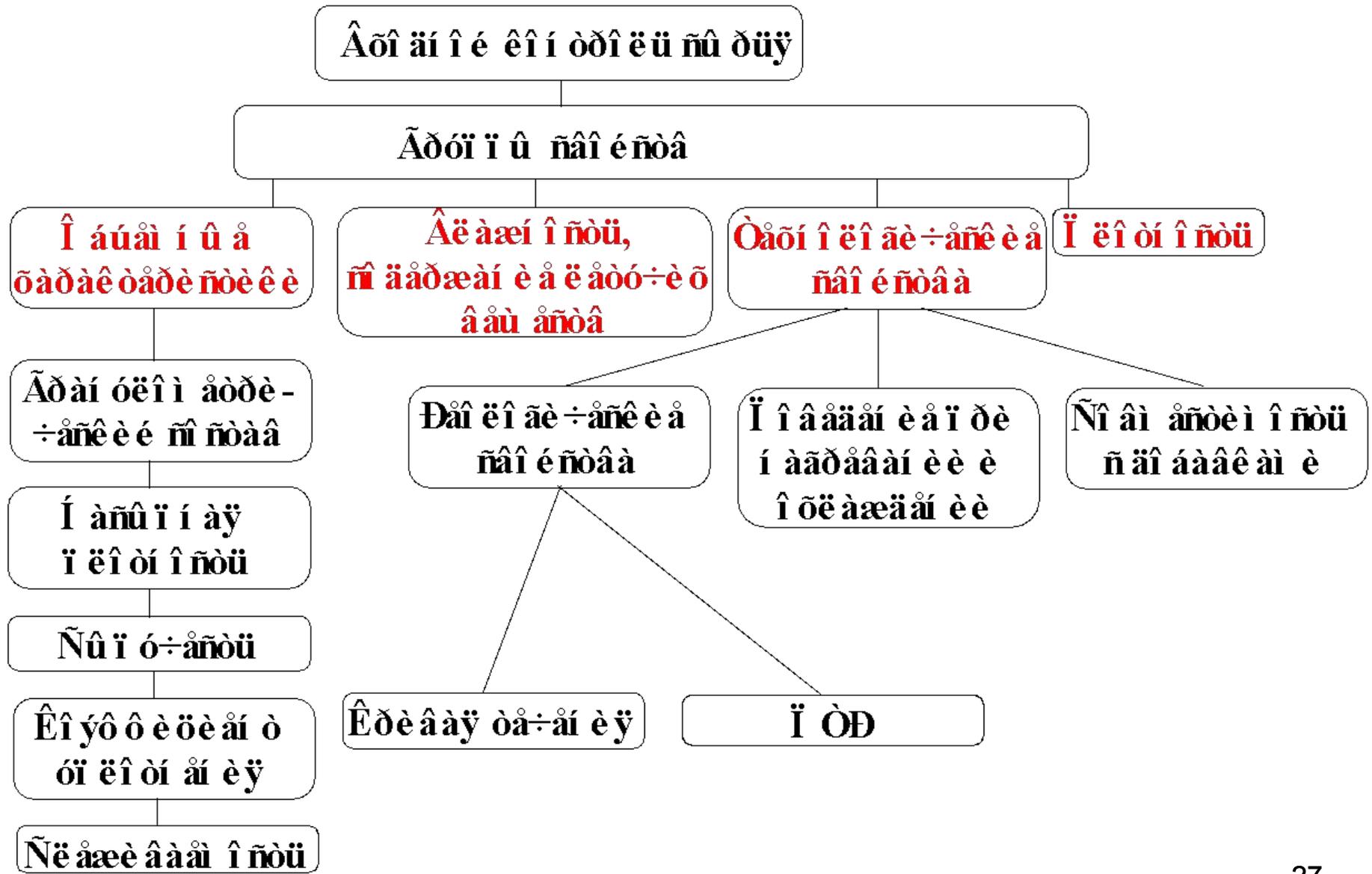
Производители, как правило, указывают рекомендуемое процентное содержание добавок, однако эти рекомендации необходимо проверять экспериментально в каждом конкретном случае.

При производстве пленок пищевого назначения необходимо требовать от поставщиков аддитивов санитарно-эпидемиологического заключения.

Полимерное сырье, предназначенное для переработки, должно быть выдержано в производственном помещении не менее 12 ч, если оно хранилось при температуре ниже +10 °С (ГОСТ 16338-85, ГОСТ 16337-77).

Основной компонент	Второй компонент	Соотношение	Примечания
ПЭНД	ПЭВД	Не более 80 : 20%	При смешении ПЭНД и ПЭВД следует подбирать марки, близкие по значениям ПТР (например, 153/273; 158/276).
ПЭНД	ЛПЭНД	Не более 70 : 30%	Введение 30% ЛПЭНД необходимо для производства очень прозрачных пленок. Также ЛПЭНД повышает механические показатели пленки и прочность сварного шва пакетов.
ПЭВД	ЛПЭНД	Не более 85 : 15%	Смеси мЛПЭВД — металлоце-новые катализаторы (до 30%) с ПЭВД позволяют улучшить такие характеристики, как устойчи-вость к разрыву и проколу, растяжение в поперечном на-правлении, ударопрочность, сварные и оптические свойства пленки. При этом смеси могут перерабатываться на обычном оборудовании, предназначенном для переработки ПЭВД.
ПЭНД к ПЭВД в равном соотно-шении — 50 : 50	СЭВ (марки 113, 115)	Подбирают эксперимен-тальным путем	Введение СЭВ необходимо для улучшения совместимости ком-понентов. Однако введение СЭВ может привести к снижению физико-механических характе-ристик производимой пленки. СЭВ улучшает свариваемость ПЭ пакетов (температура сварки СЭВ ниже, чем у ПЭ), если не проис-ходит пережигания и использу-ются широкие сварочные ножи.
ПЭНД	ВИПП (высокоин-дексный по-липпропилен)	3—4 % ВИПП на рецептуру сырья *	Введение ВИПП рекомендовано при необходимости производства очень тонких пленок (4—5 мкм) для активизации процесса экс-трузии.

# Входной контроль сырья



**Гранулометрический состав** (размер частиц и их фракционный состав). На практике для оценки гранулометрического состава полимерного сырья целесообразно применять ситовый анализ.



**Насыпная плотность** – масса единицы объема гранулированного полимера,  $\text{кг}/\text{м}^3$ . Зависит от гранулометрического состава (формы и размеров частиц) полимерного сырья, плотности, влажности, шероховатости поверхности гранул, вида наполнителя и др.

Оптимальное значение –  $600\text{-}800 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

## Сыпучесть

Характеризуется массой порошкообразного материала, истекающего через стандартную воронку с отверстием диаметром 10 мм за 1 минуту.

## Влажность, содержание сыпучих веществ

Сверхнормативное содержание влаги может приводить к образованию в изделиях пор, каверн, свилей, серебрения, разводов, волнистых пузырей, непрозрачности. Газообразные продукты приводят к образованию пор, раковин и т.д.

Методы определения влажности	Преимущества метода	Недостатки метода	Условия проведения проверки
Сушка образца до постоянной массы	Простота	Продолжительность, низкая точность	Желательно проводить в вакууме при температуре не выше 100–105 °С
С использованием реактива Фишера	Точность	Продолжительность, сложность	
С использованием влагомеров	Точность	Пригоден для экспресс-анализа	Наличие прибора

## Рекомендации по подготовке (предварительной сушке перед переработкой)

Требуют предварительной сушки	Не требуют предварительной сушки
АБС	Непластифицированный ПВХ
Полиакрилаты	Пластифицированный ПВХ
Полиамиды	ПЭНД
Поликарбонат	ПЭВД
Полиацетали	Полистирол
Эфиروцеллюлозные пластики	Ударопрочный полистирол
Полисulfон	ТЭП **
Полиэтилентерефталат	
Полипропилен *	
Пентапласт	

\* С морозостойкими добавками (каучук, акрилонитрил и др.).

\*\* В зависимости от типа.

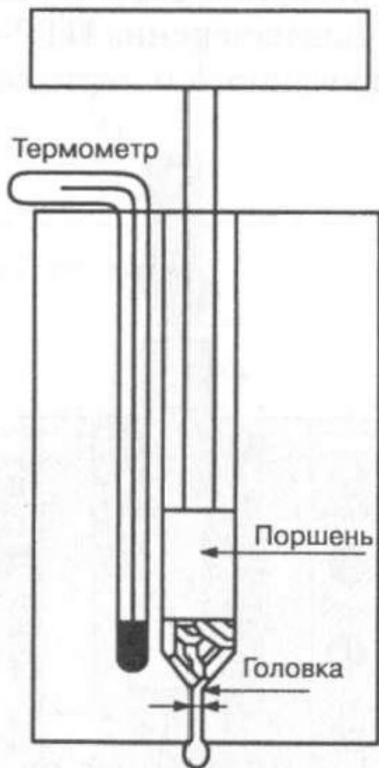
## Свойства термопластов, наиболее часто используемых в производстве

Свойства	Единица измерения	ПЭВП	ПЭНП	ПП	ПС
Насыпная плотность	г/см <sup>3</sup>	0,50–0,55	0,50–0,55	0,40–0,50	0,56–0,63
Размер гранул	мм	2 × 5	2 × 5	2 × 5	3 × 5
Плотность при 293 К	г/см <sup>3</sup>	0,95	0,91–0,93	0,90	1,05–1,08
Коэффициент трения по стали		0,12	0,33	–	–
Содержание влаги	%	–	–	–	0,15
Температура сушки	К	–	–	–	T = 353 К
Продолжительность сушки	ч	–	–	–	t = 3–4 ч
Содержание летучих веществ	%	0,25	0,10	0,09–0,20	1,9–2,0
Линейная усадка	%	1,0–3,0	2,0–5,0	1,9–2,0	0,4–0,8

# Технологические свойства полимеров

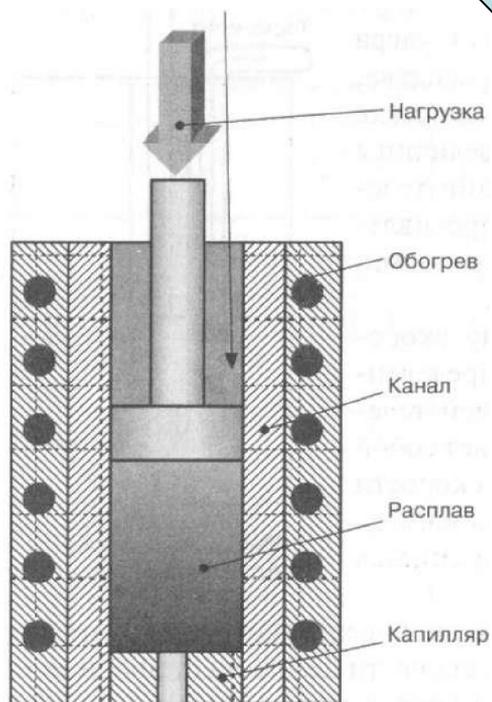
## Реологические свойства

Вязкость расплава



Показатель  
текучности  
расплава

Массовый  
Объемный



Оценка термостабильности

**Плотность** (обмер и взвешивание, гидростатическое взвешивание, пикнометрический метод, флотационный метод, метод градиентной колонки)

Плотность рассматривается как мера кристалличности полимера.

Увеличение плотности при сохранении других параметров ведет к увеличению:

- модуля упругости;
- предела текучести;
- термостойкости;
- глянца у ПЭВП;
- ударной прочности;
- сопротивления образованию трещин;
- прозрачности;
- прочности на разрыв;
- прочности при растяжении у ПЭВД.

## **Методы получения пленок**

- экструзия;
- каландрование;
- полив из раствора

## **Физические и химические свойства пленок**

- оптические свойства;
- проницаемость;
- плотность;
- свариваемость;
- размерная стабильность;
- водопоглощение;
- химическая стойкость;
- светостойкость;
- температуростойкость;
- горючесть

## **Соединение пленок**

- механические методы;
- тепловая сварка;
- высокочастотная сварка;
- ультразвуковая сварка;
- адгезивы (клеи)

# Получение пленок из раствора полимеров

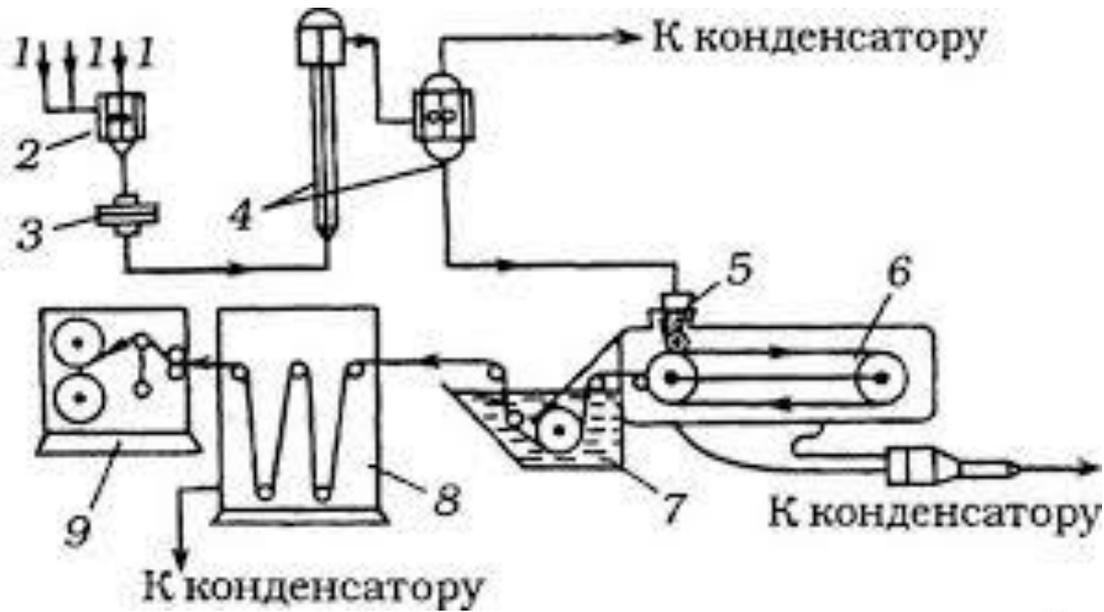
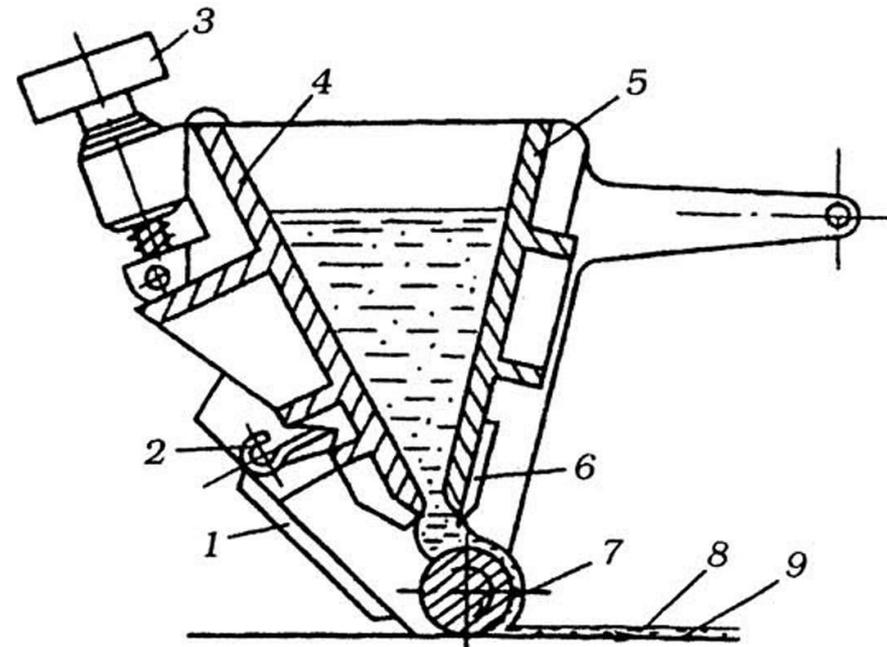


Схема фильеры с валиком для отливки пленки из раствора



# Технологические линии и способы получения пленок

Широко применяются два основных способа изготовления пленок из расплава:

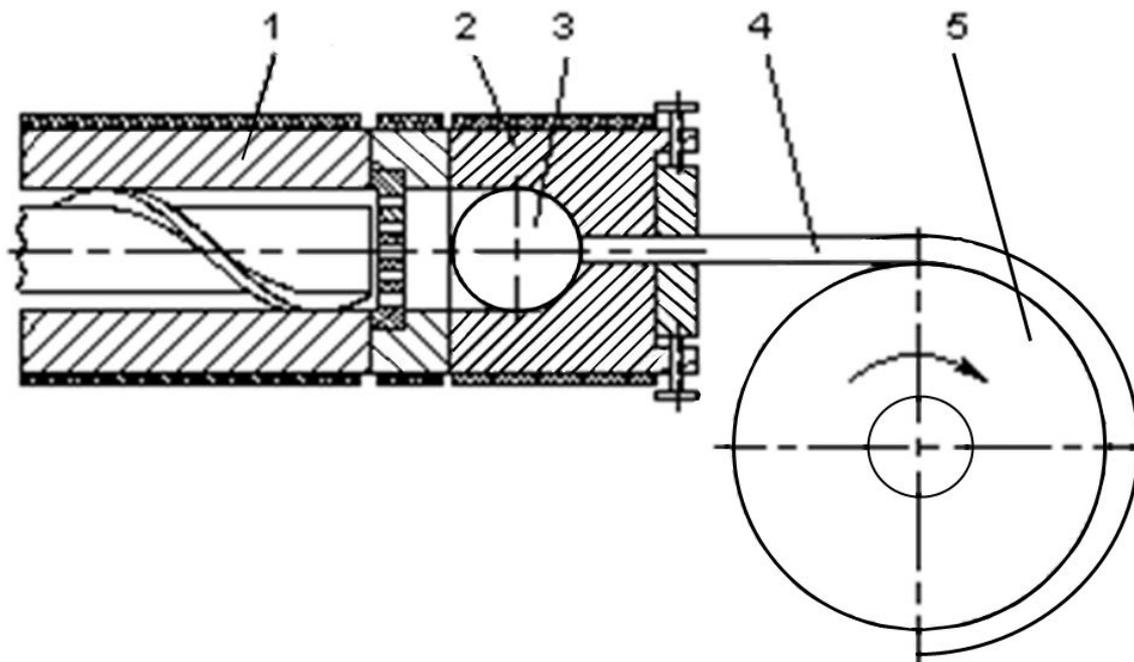
- экструзией через плоскощелевую головку (плоская пленка);
- экструзией через рукавную головку с последующим раздувом рукава (рукавная пленка).

При плоскощелевой экструзии расплав полимера продавливается через головку, формообразующей поверхностью которой служат две параллельные плиты.

Для обеспечения прозрачности пленок должна формироваться однородная аморфная или мелкокристаллическая структура, что достигается **резким охлаждением расплава** тем или иным способом сразу после выхода из головки. Для этого используют агрегаты двух типов:

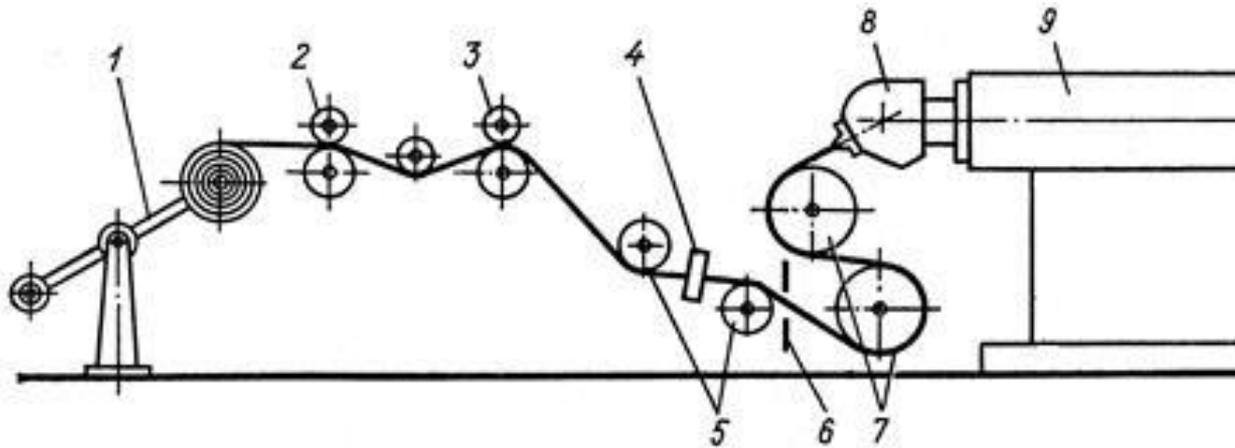
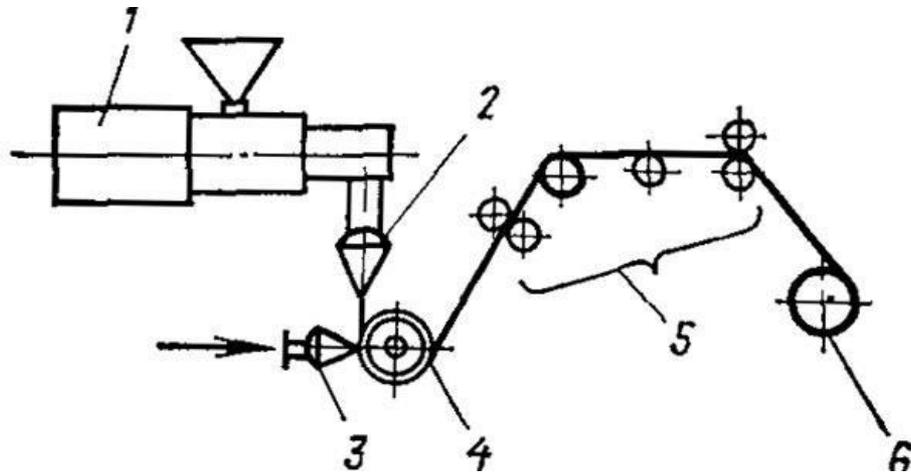
- с охлаждением формируемой пленки в водяной ванне;
- с поливом расплава на охлаждающий барабан.

# Схема формирования плоской пленки на поливном барабане

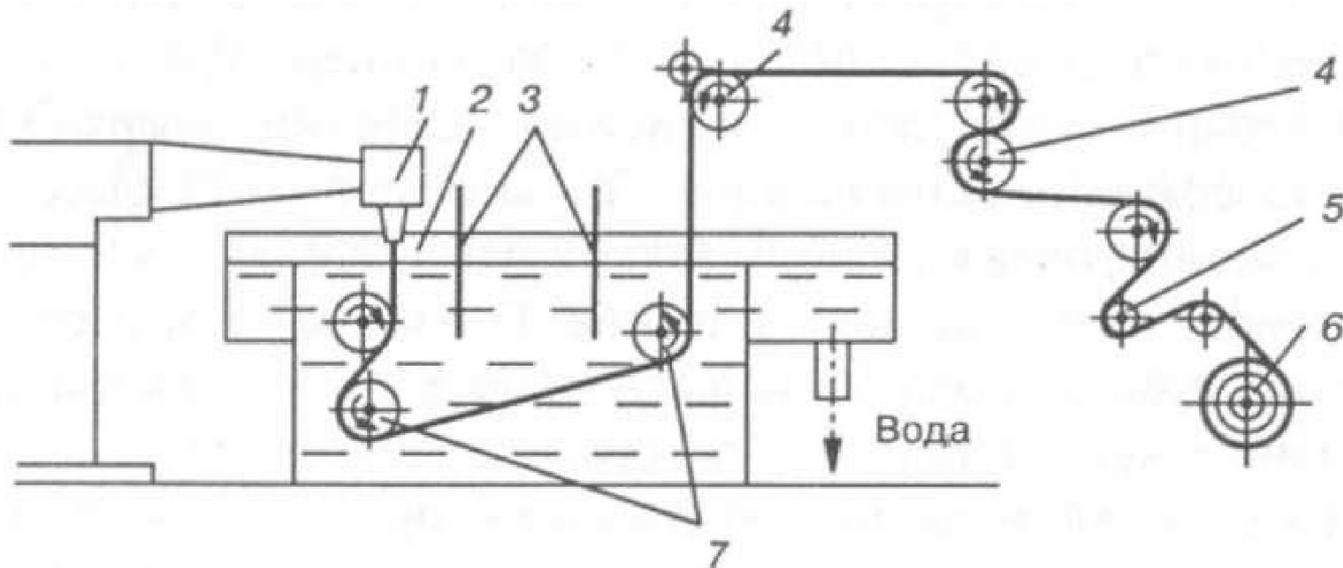
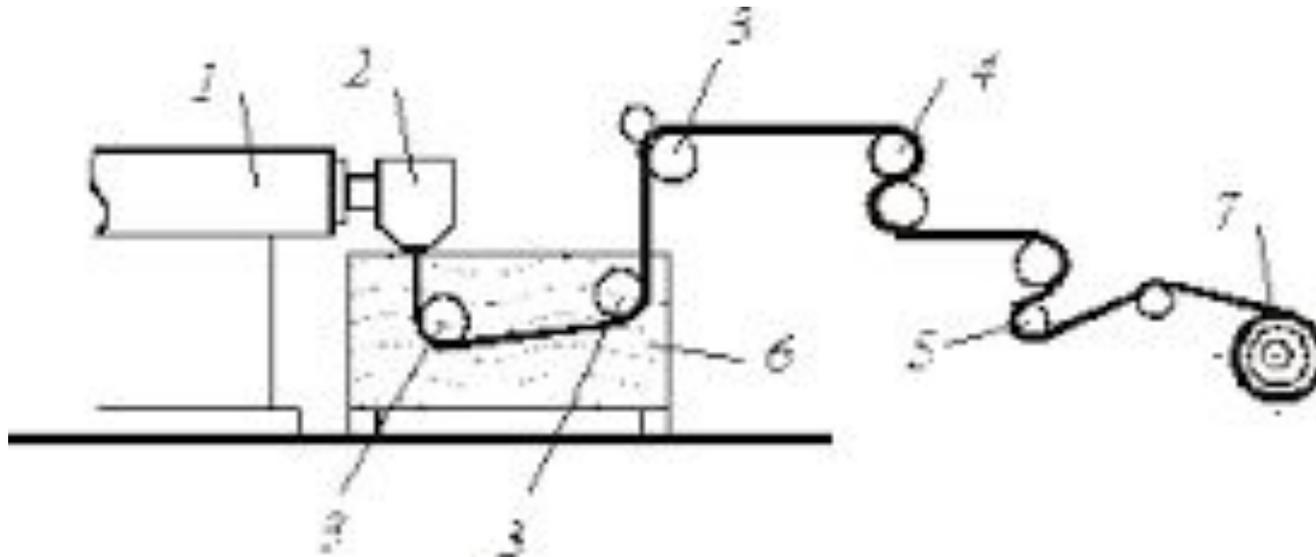


- 1 – экструдер;
- 2 – плоскощелевая головка;
- 3 – коллектор;
- 4 – пленка;
- 5 – охлаждаемый барабан

# Щелевой метод с охлаждением на валке



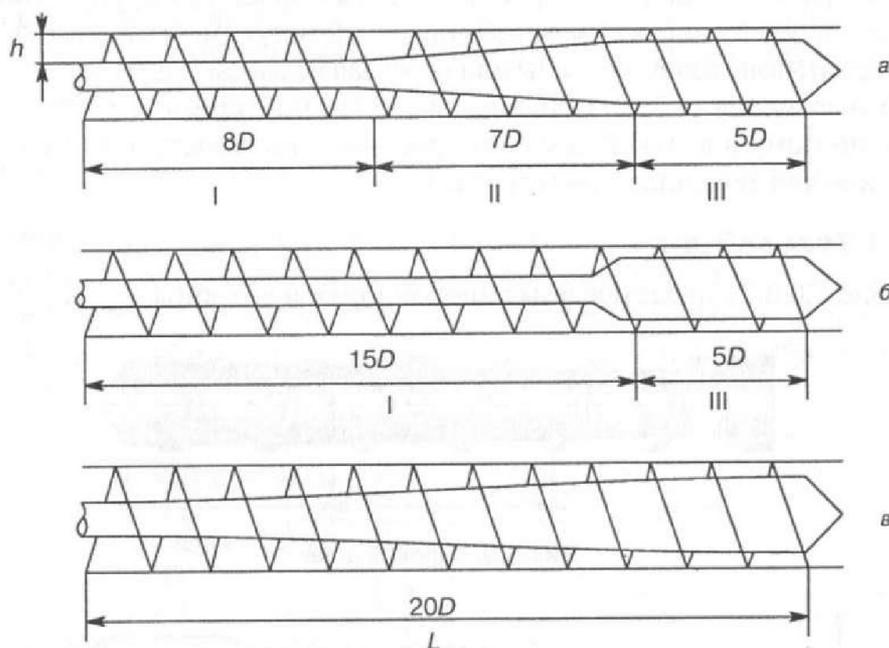
# Получение плоских пленок с использованием охлаждающей воды



## Характеристика одношнековых экструдеров

Параметрический ряд отечественных экструдеров построен по диаметрам шнека	$D = 20, 32, 45, 63, 90, 125, 160, 200, 250, 320$ мм
Толщина пленок после вытяжки и раздува	от 10 до 300 мкм с колебанием толщины +10%
При производстве пленок применяются экструзионные установки с длинными шнеками	$D$ — от 20 до 90 мм (иногда — до 120 мм)
Рекомендуемое отношение для устранения пульсации расплава	$L/D = 20 \div 25$

## Основные типы шнеков



а – шнек общего назначения с тремя (I, II, III) зонами;

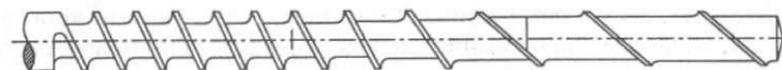
б – шнек для переработки высококристаллических полимеров;

в – шнек для экструзии ПВХ

## Типовой шнек с увеличенной заходностью в зоне питания



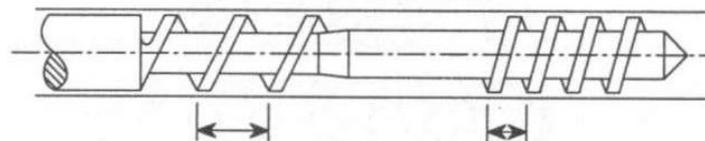
Шнек с переменным увеличивающимся шагом нарезки



Шнек с переменным уменьшающимся шагом нарезки



Шнек с уменьшающимся шагом для ЛПЭНП

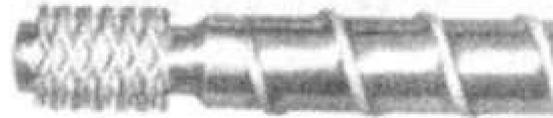


# Смесительные элементы шнеков

с гладким наконечником



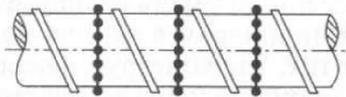
с наконечником, оснащенным смесительным узлом



с поперечными отверстиями на витках нарезки шнека



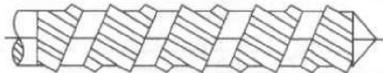
со смесительным узлом с выступающими шипами



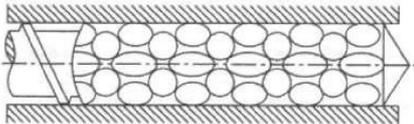
стержневая смесительная секция



смесительная секция Dulmage



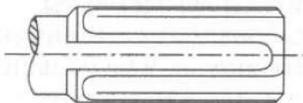
смесительная секция Saxton



СТМ-секция



смесительная секция в виде кольцевого выступа



секция смешения Union Carbide

# Фильтры



Параметр фильтрации	Проволочная сетка		«Спекшийся порошок»	«Хаотичные нити»
	с квадратной ячейкой	«голландская пряжа»		
Захват геля	Плохо	Нормально	Хорошо	Очень хорошо
Очистка от примесей	Нормально	Хорошо	Нормально	Очень хорошо
Проницаемость	Очень хорошо	Плохо	Нормально	Хорошо

# Системы фильтров

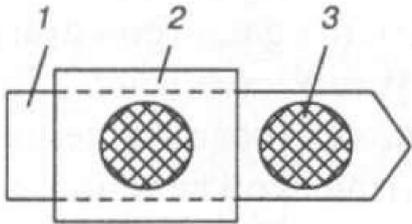
пробковые

шиберные

кассетные

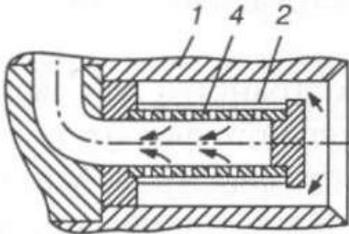
другие

Фильтр шиберного типа



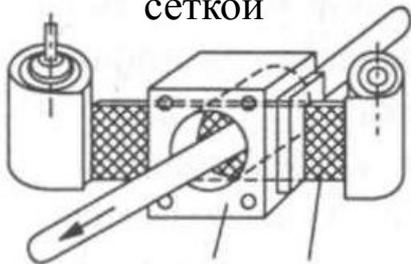
Замена пакета (2, 3 или 4 сетки с различными по размеру ячейками) фильтрующих сеток (поз. 2, 3) производится движением шибера 1 вручную или механическим приводом

Фильтр кассетного типа



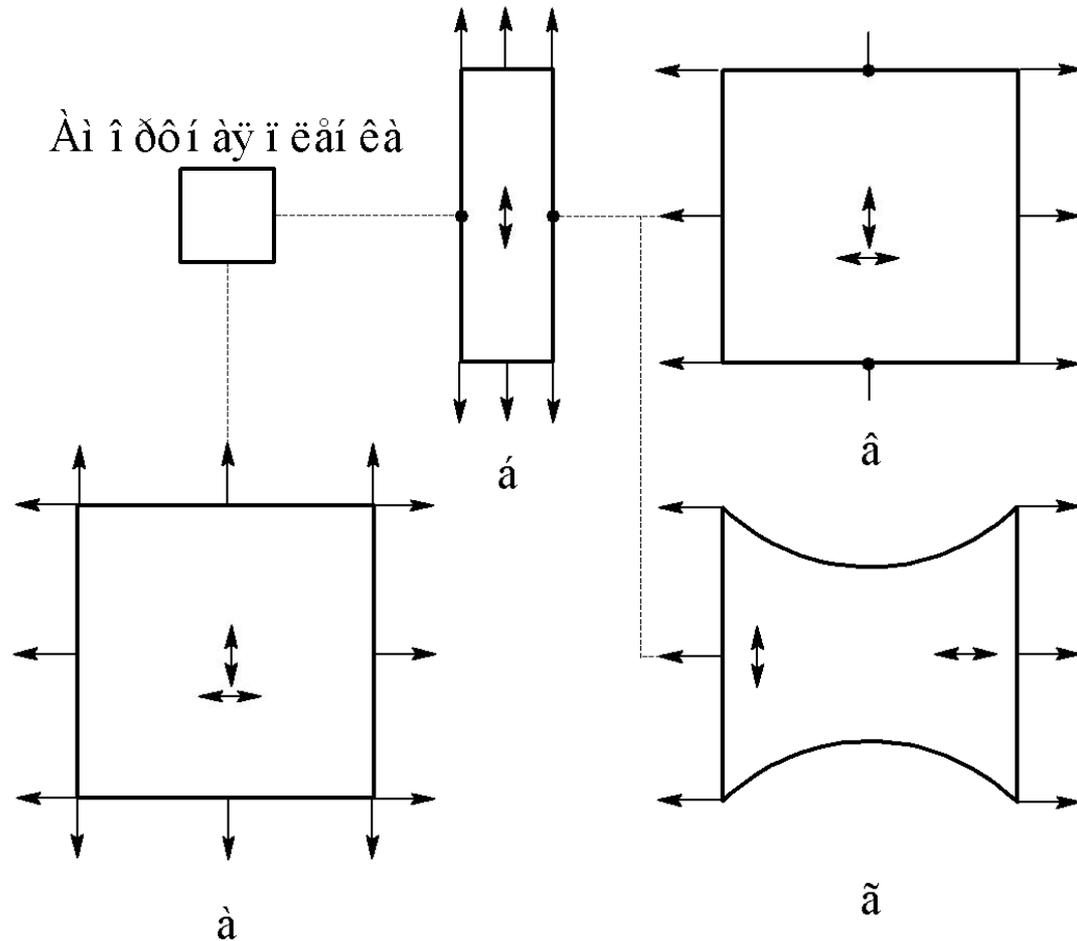
Используется перфорированный цилиндр (4) с сеткой (2). Подобная конструкция позволяет использовать 1, 2 или 3 телескопически установленных цилиндра с сетками

Фильтр с самоперемещающейся сеткой



Чтобы увеличить срок службы фильтра используют устройство с непрерывно движущейся сетчатой лентой

# Схемы вытяжки при ориентации плоских пленок



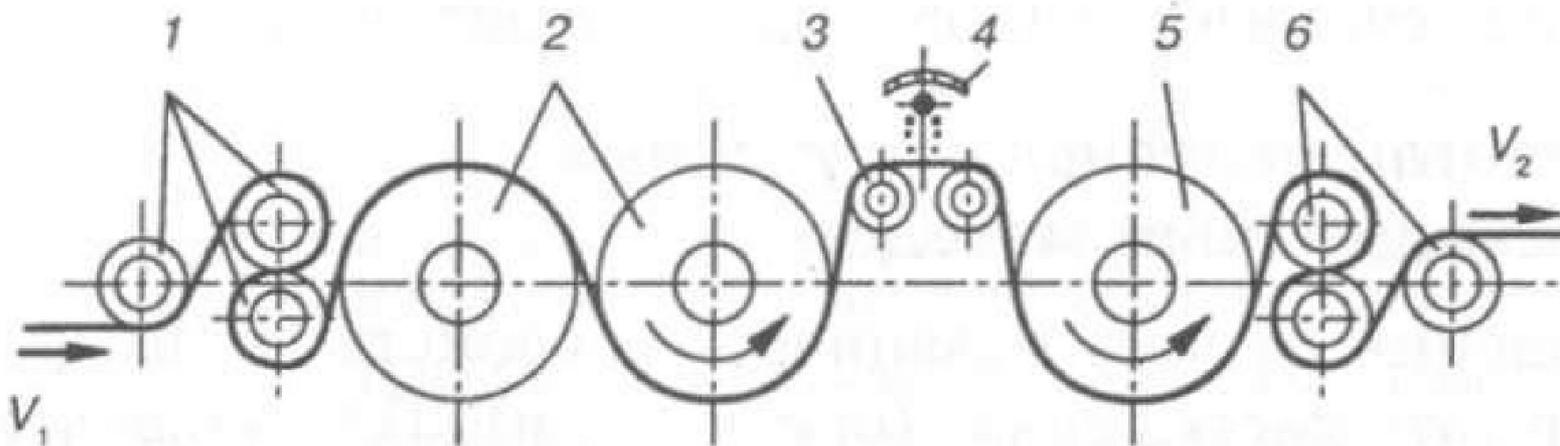
а – одностадийная вытяжка в двух взаимно перпендикулярных направлениях;

б – одноосная вытяжка с сохранением постоянной ширины (первая стадия раздельной двухосной вытяжки);

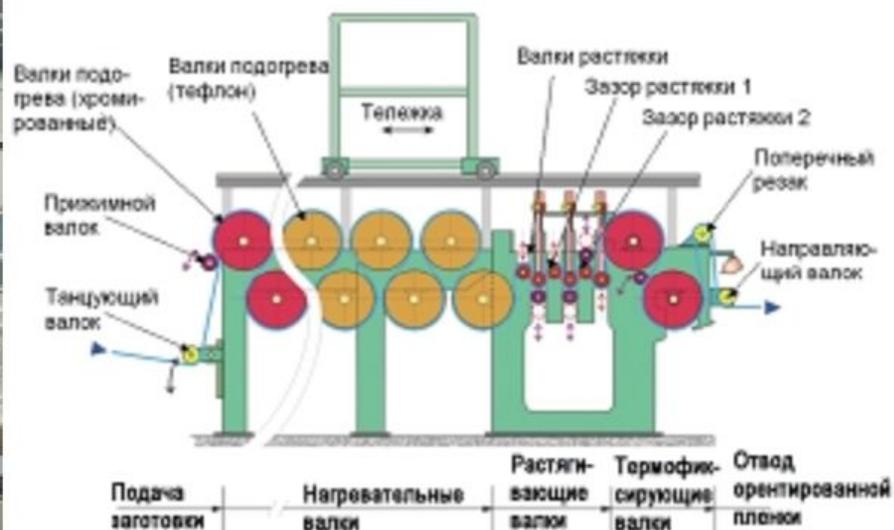
в – вторая стадия раздельной двухосной вытяжки при сохранении достигнутой ранее степени вытяжки;

г – вторая стадия раздельной двухосной вытяжки без удерживающих боковых зажимов

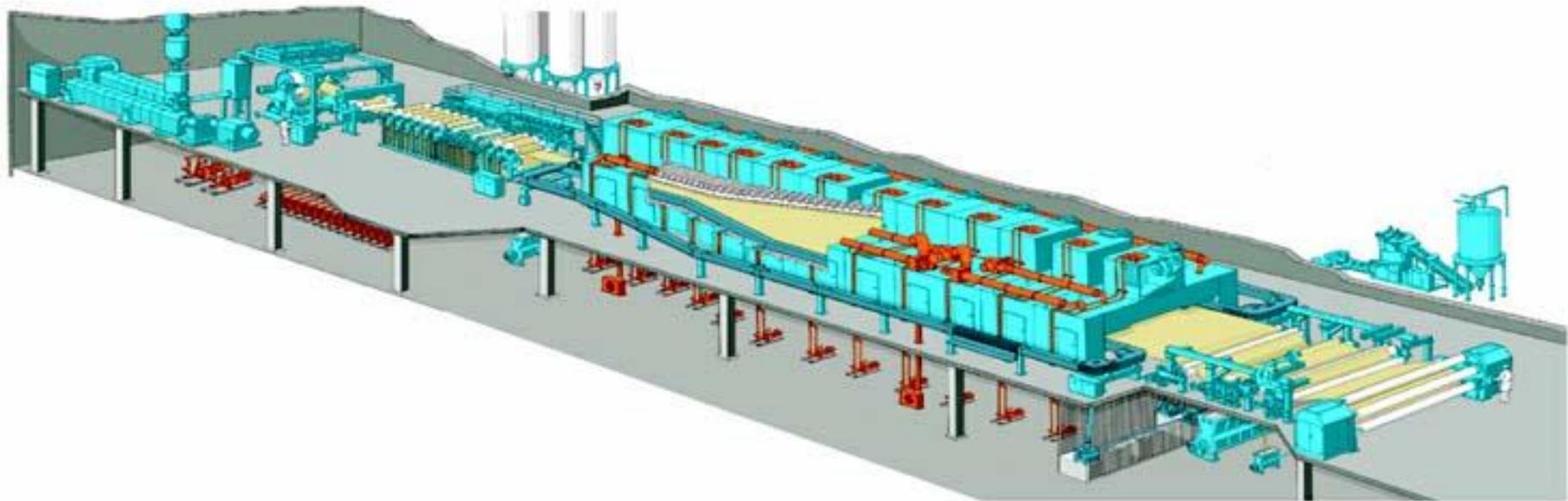
# Продольная ориентация пленки при комбинированном нагреве валками и инфракрасными излучателями

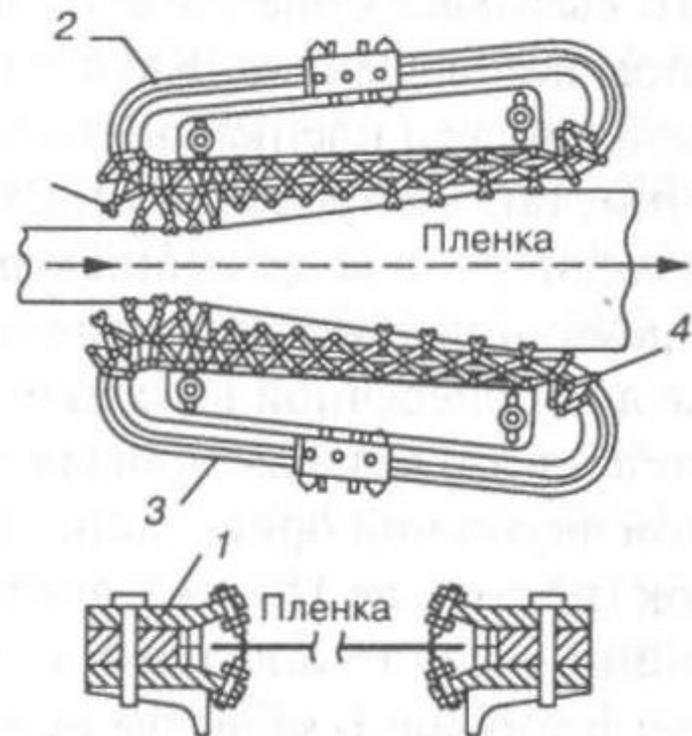
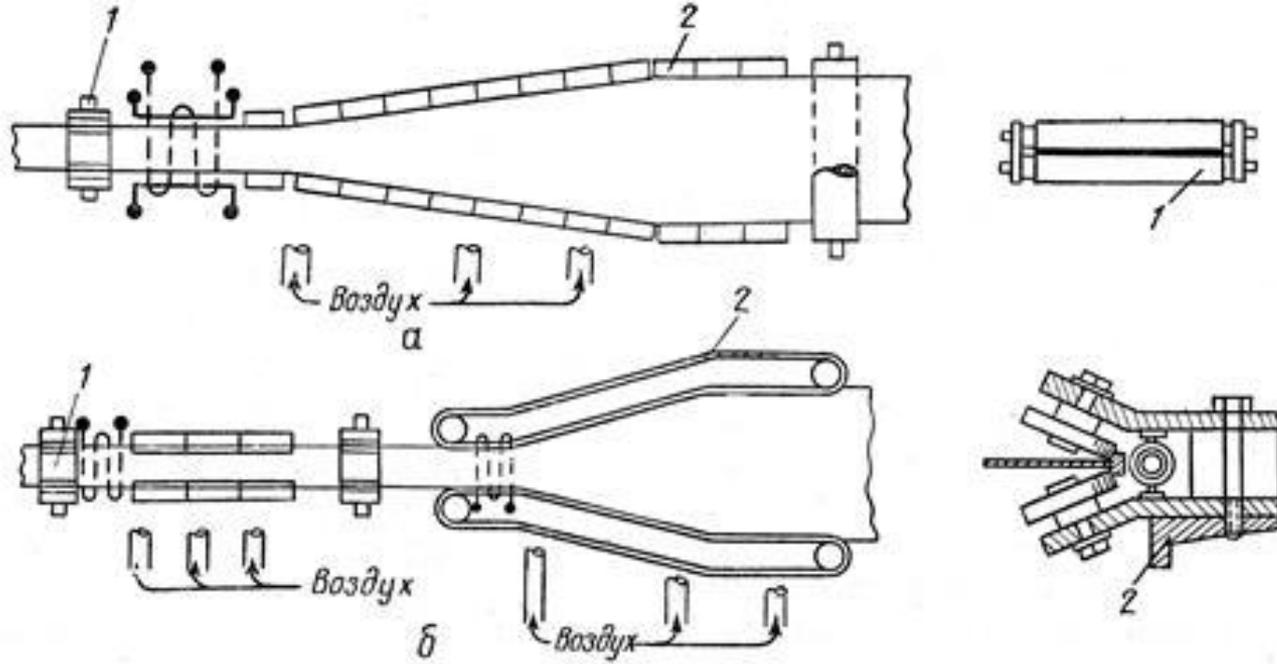


- 1 – тихоходные валки; 2 – нагревательные валки;
- 3 – промежуточные валки; 4 – инфракрасный излучатель;
- 5 – охлаждающий валок; 6 – быстроходные тянущие валки



# Линия по получению двухосноориентированной (биаксиальной) пленки

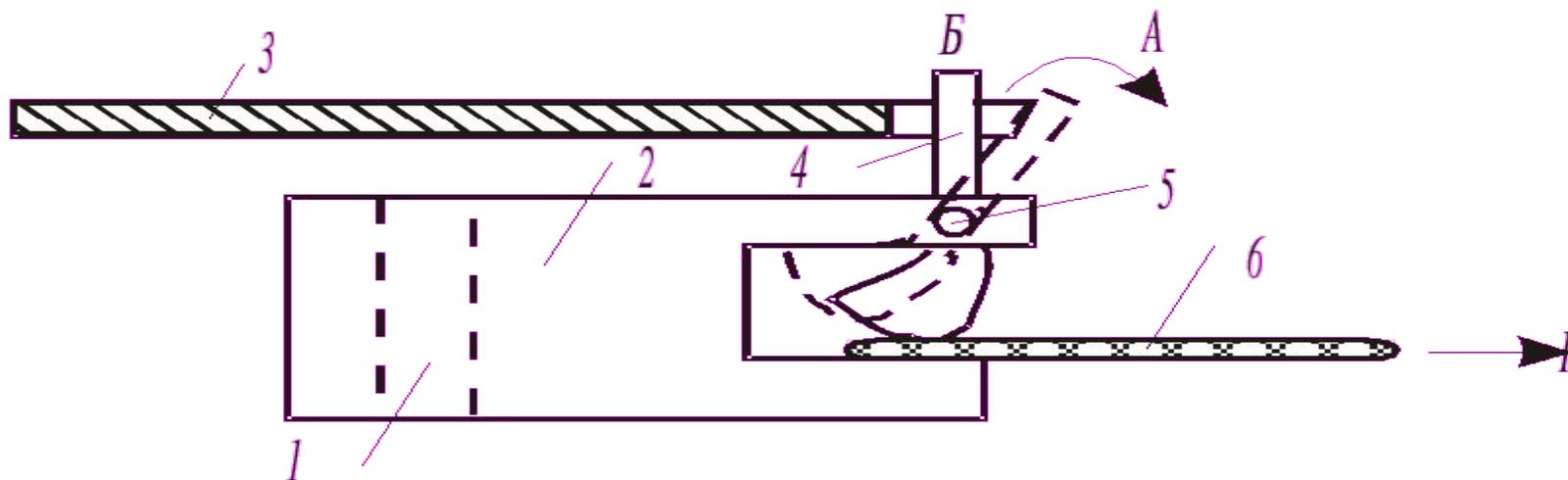




## Конструкция машины поперечного растяжения пленок:

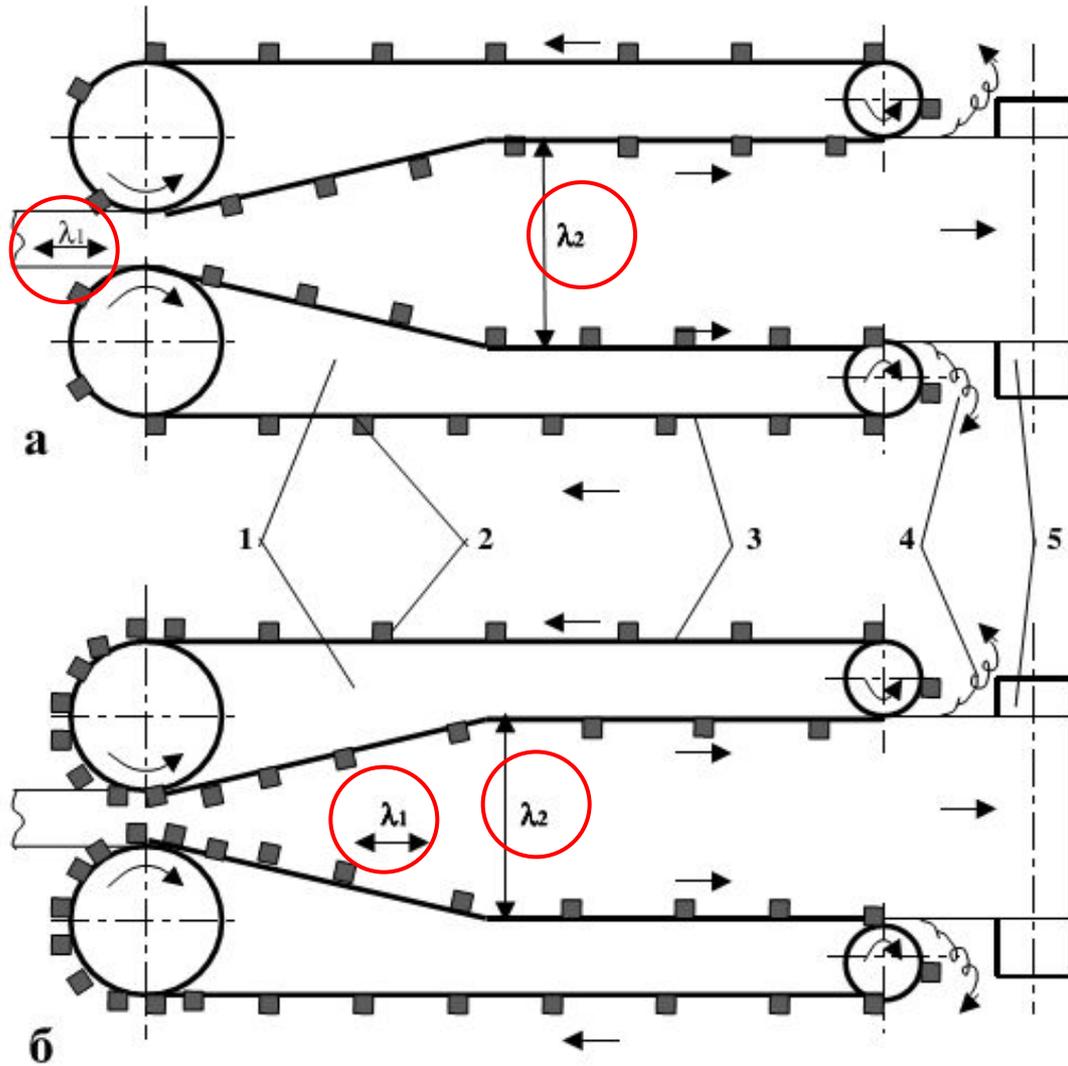
- 1 - зажимы;
- 2, 3 - направляющий рельс;
- 4 - направляющие ролики

## Клупп для фиксации пленки



- 1 – растягиваемая зажатая пленка;
- 2 – корпус;
- 3 – упор-толкатель поворота рычага;
- 4 – рычаг зажима;
- 5 – вал

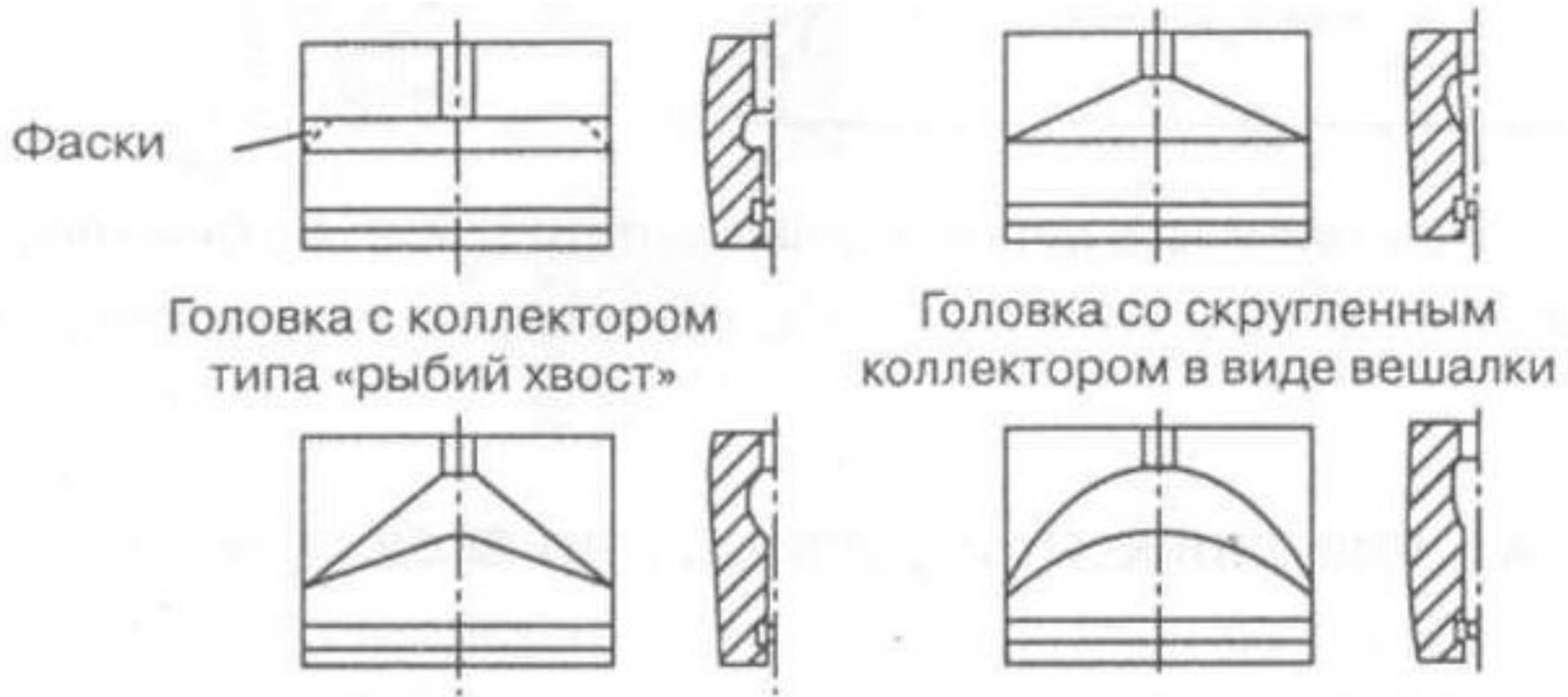
# Схема агрегата для непрерывной поперечной (а) и одновременной двухосной (биаксиальной) (б) ориентации пленок



1 – агрегат для ориентации пленок;  
 2 – клуппы (зажимы); 3 – непрерывные замкнутые цепи;. 4 – отрезанные кромки ориентированной пленки; 5 – устройство для намотки ориентированной пленки.  
 $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  – степени вытяжки вдоль и поперек полотна пленки.  
 Стрелки указывают направление движения клуппов и пленки

# Получение пленок из расплава полимеров

## Формы коллекторов плоскощелевых экструзионных головок

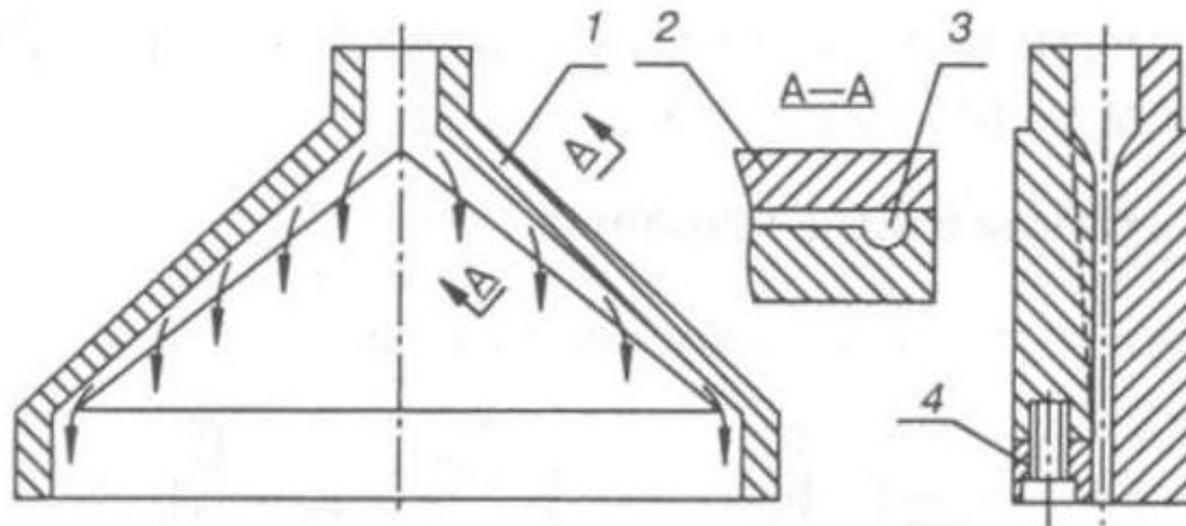


Головки с коллектором Т-образной формы

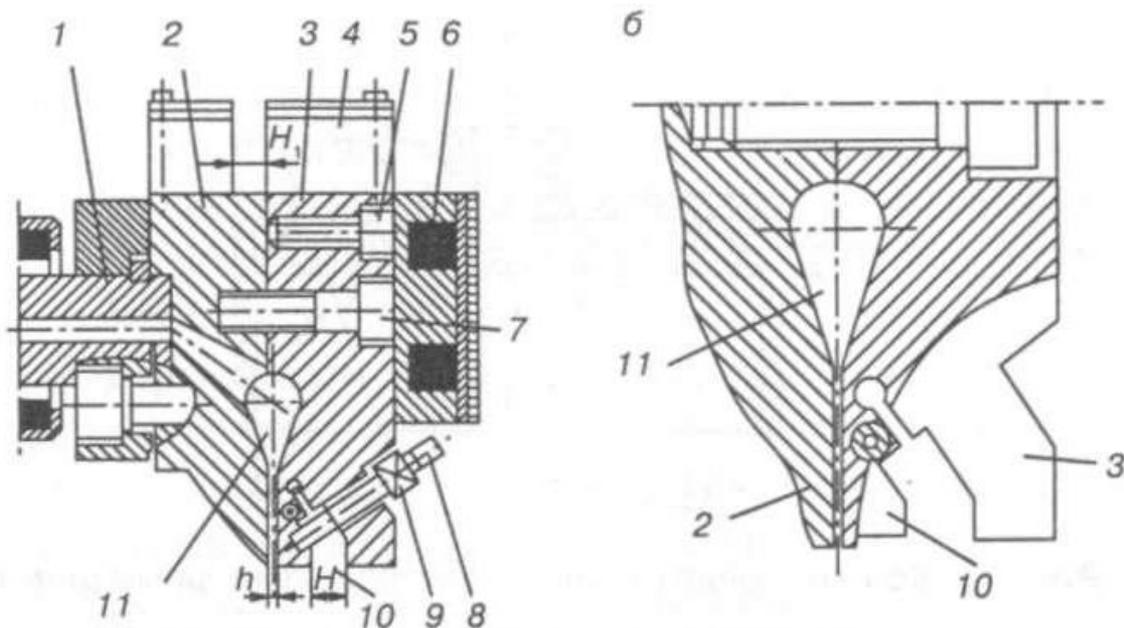
Головки с коллектором в виде вешалки

Головки с коллектором типа «рыбий хвост»

## Щелевая головка с двумя коллекторами (типа «рыбий хвост»)

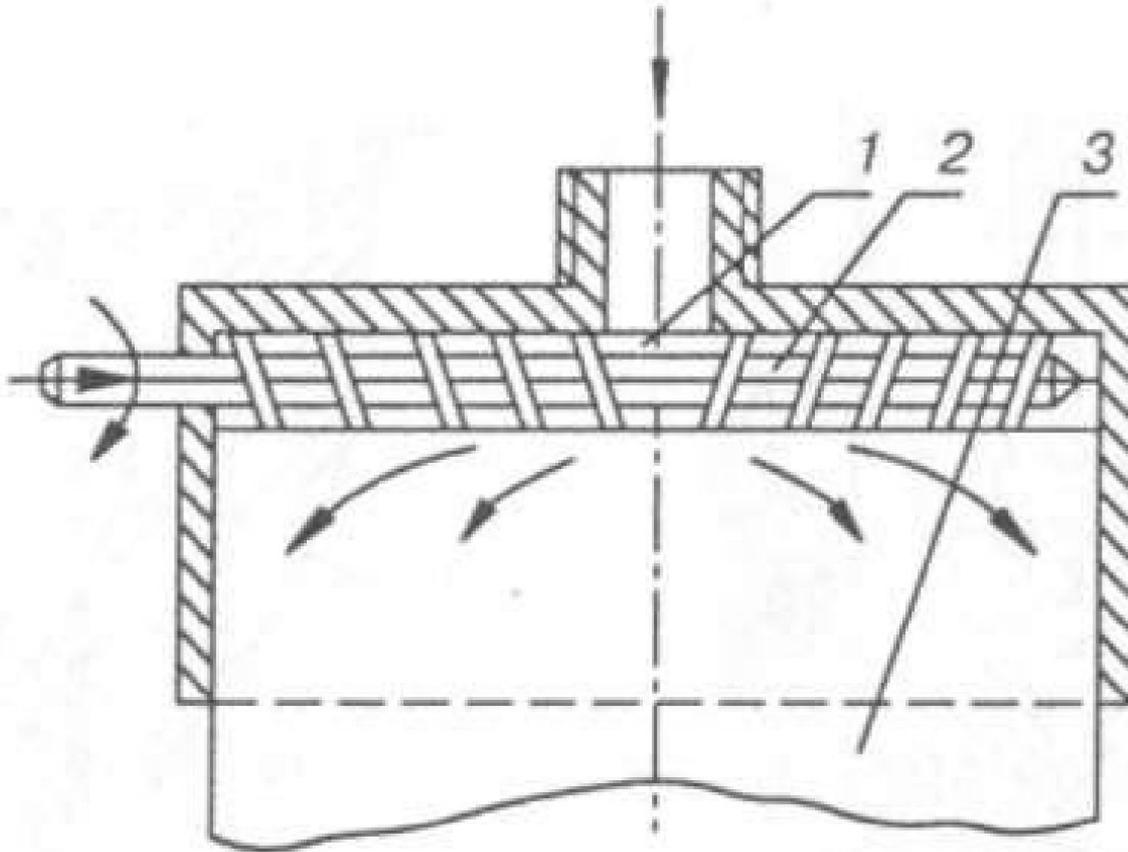


1 – нижняя плита; 2 – верхняя плита; 3 – коллекторы; 4 – подвижная губка



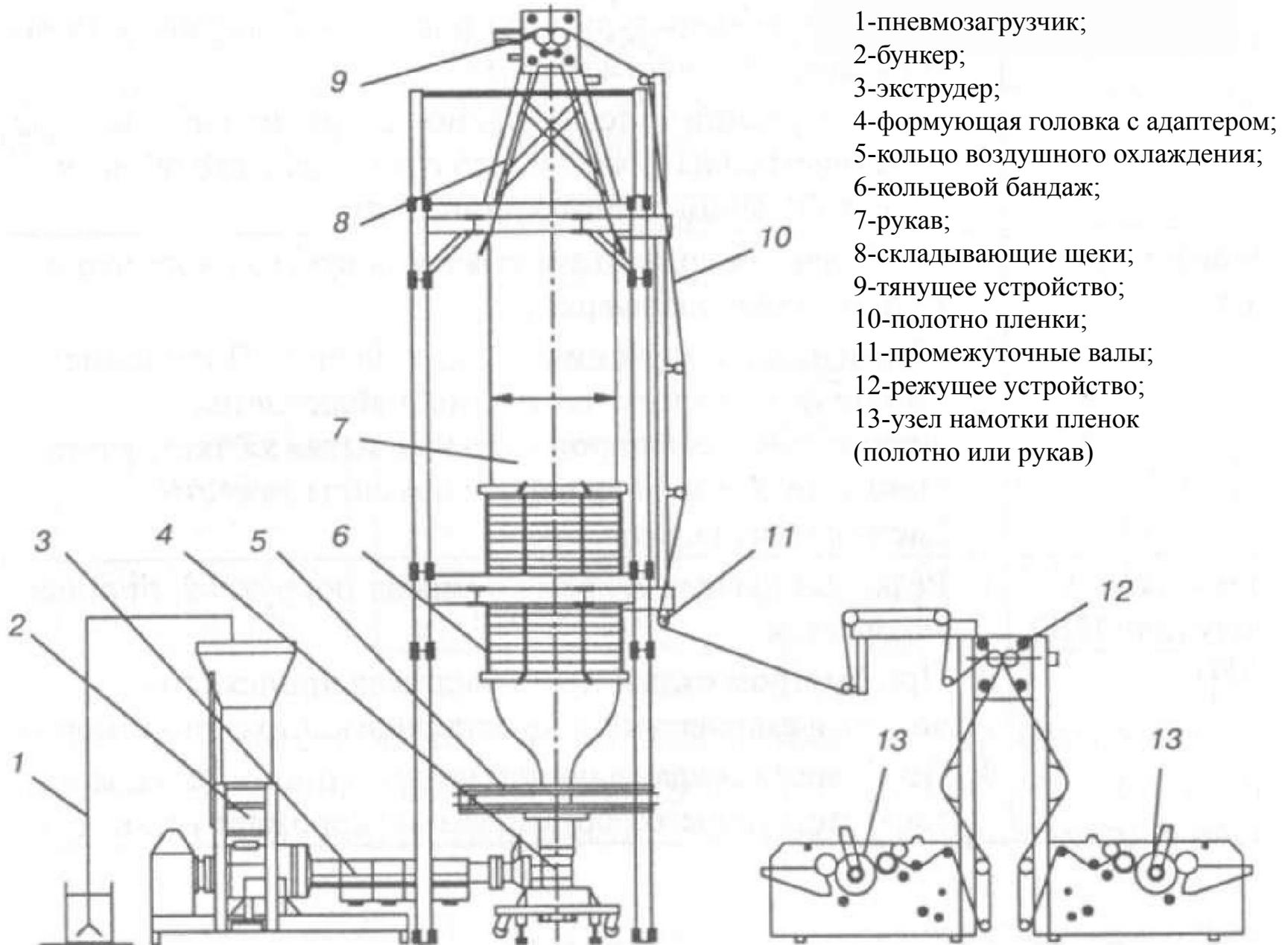
Плоскощелевая  
головка с упругой  
губкой

# Коллекторная головка с распределительным шнеком

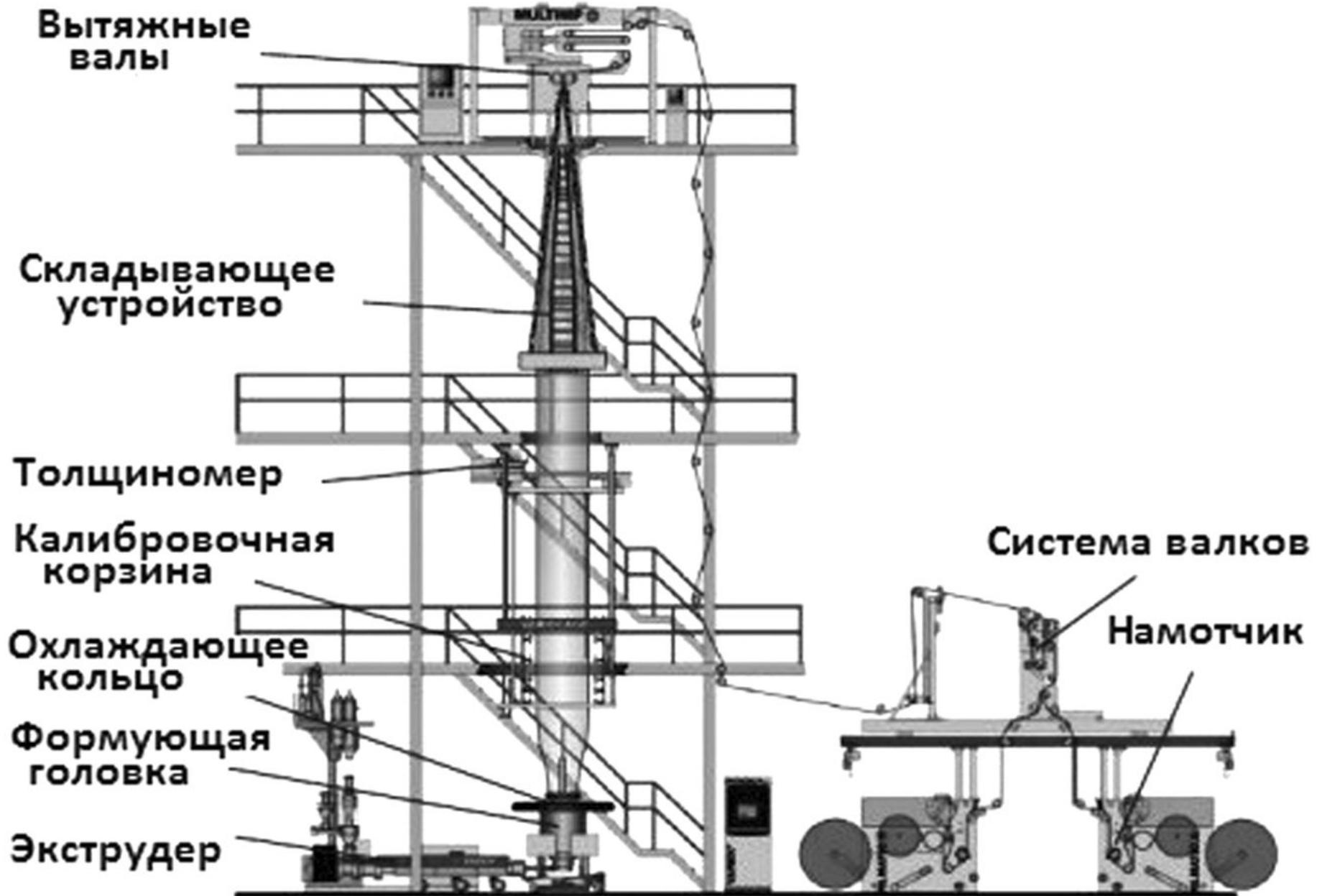


1 – коллектор; 2 – шнек; 3 – полотно пленки

# Рукавное получение пленки (снизу вверх)



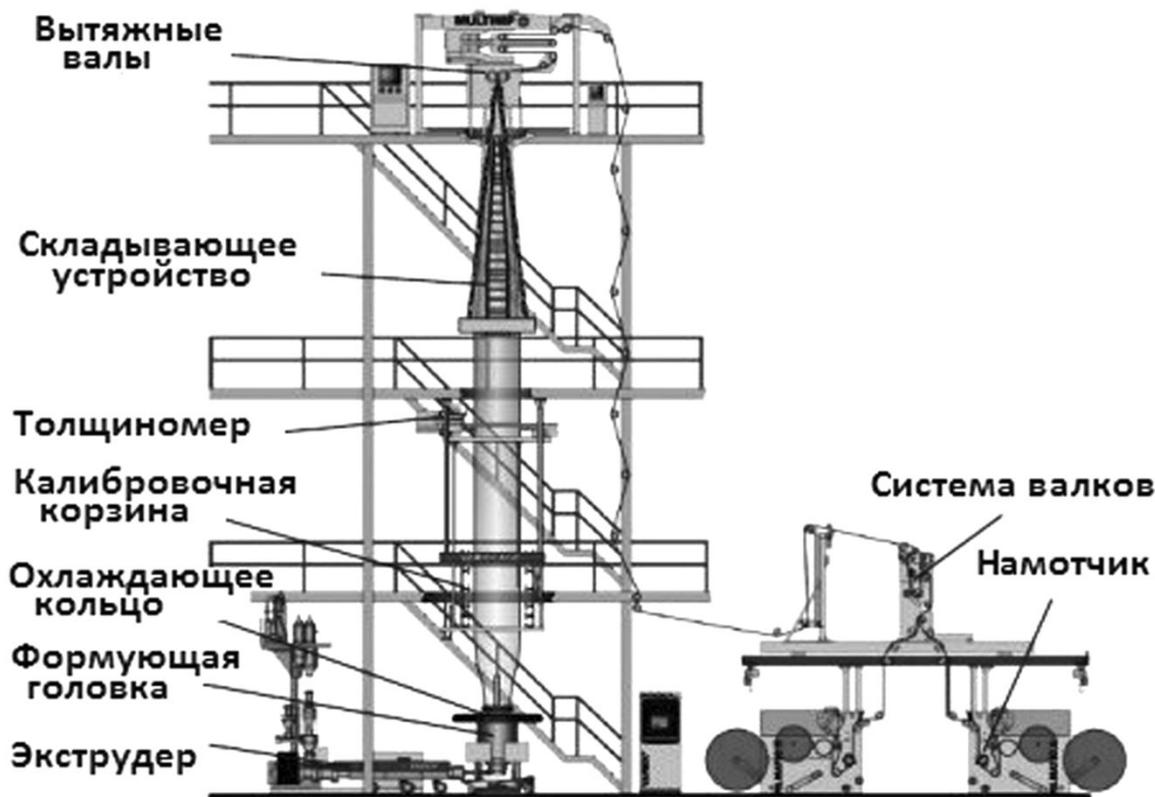
# Формирование рукава по схеме снизу вверх



Все варианты получения пленок имеют свои преимущества и недостатки:

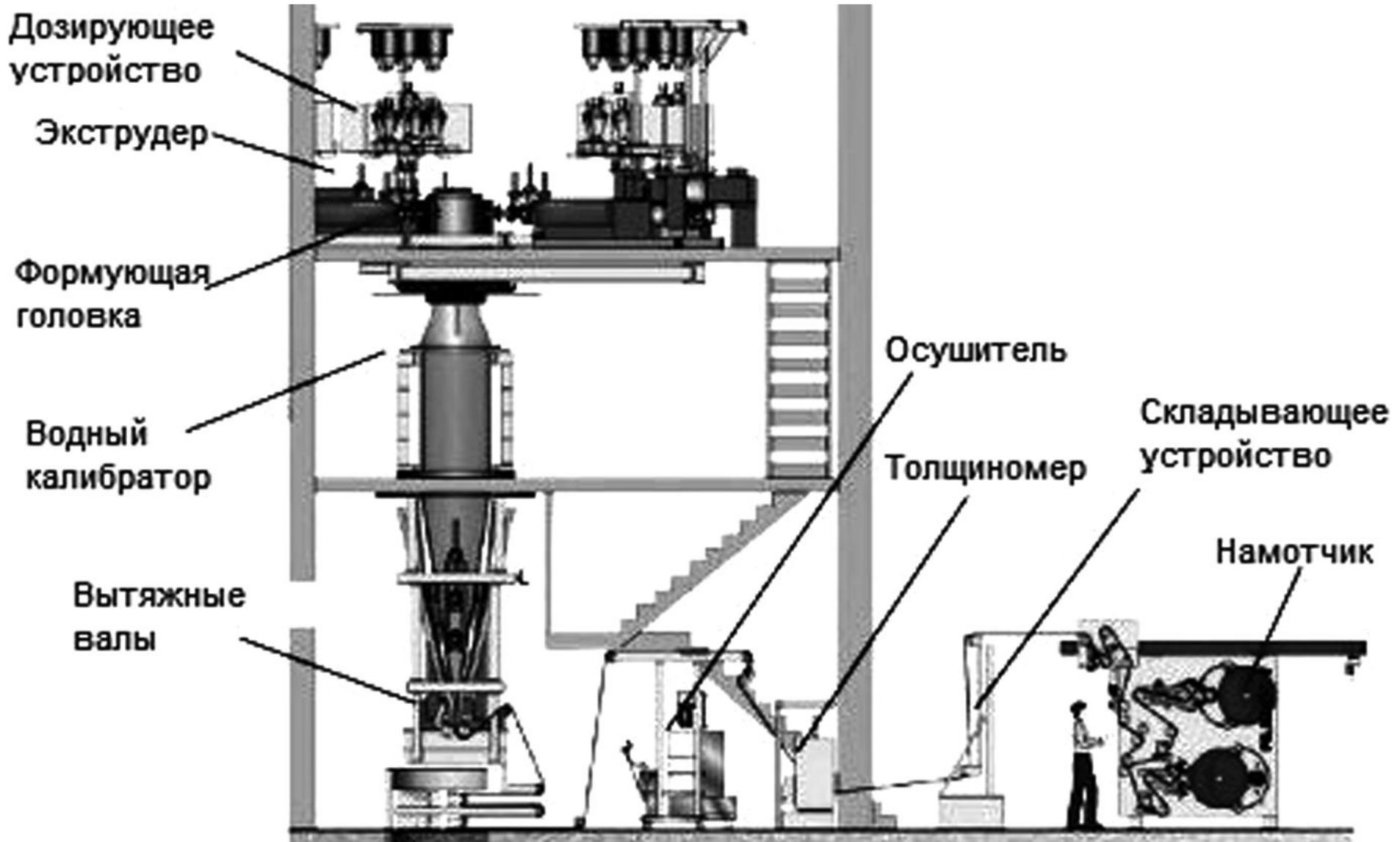
- при движении сформованного рукава вверх можно получать толстые пленки, потому что формуемая масса рукава удерживается тянущими валками.

Пленки имеют более равномерные показатели, так как охлаждаются более равномерно и со всех сторон. Такая конструкция уменьшает площадь установки, но стоит дороже за счет стоимости угловой формирующей головки.



**Формирование рукава по схеме снизу вверх**

# Формирование рукава по схеме сверху вниз

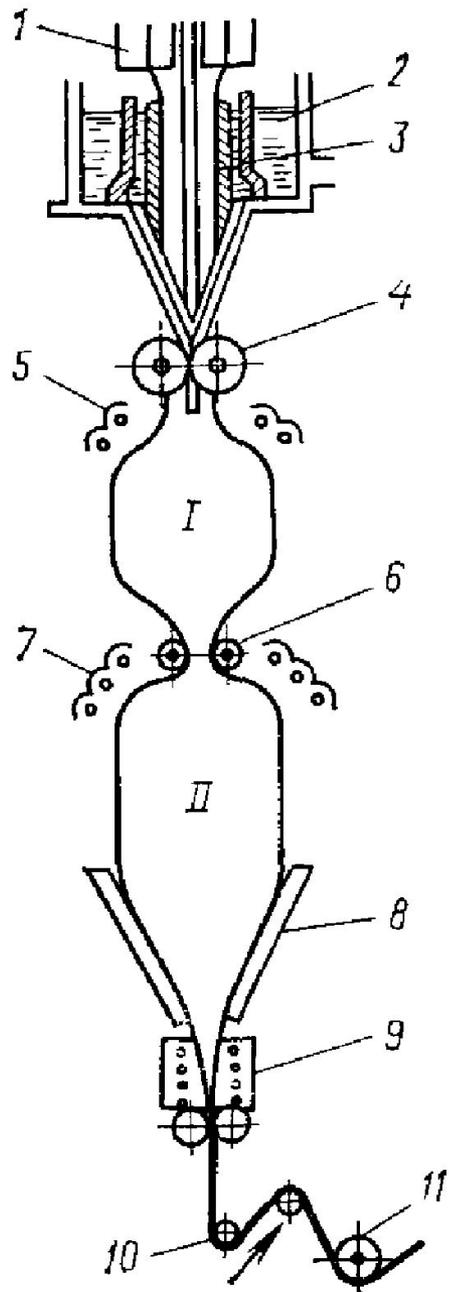


- горизонтальное движение приводит к некоторому деформированию и более медленному охлаждению верхней части рукава, который будет иметь большую вариацию по толщине. Стоит такая установка дешевле.

- способ отвода рукава вниз используется в основном для получения тонких пленок, так как большая формуемая масса может вытягиваться и обрываться под действием собственного веса. Для охлаждения толстого формуемого рукава необходимо использовать водяное охлаждение, что удорожает оборудование и процесс.







## Схема установки для ориентации рукавной пленки:

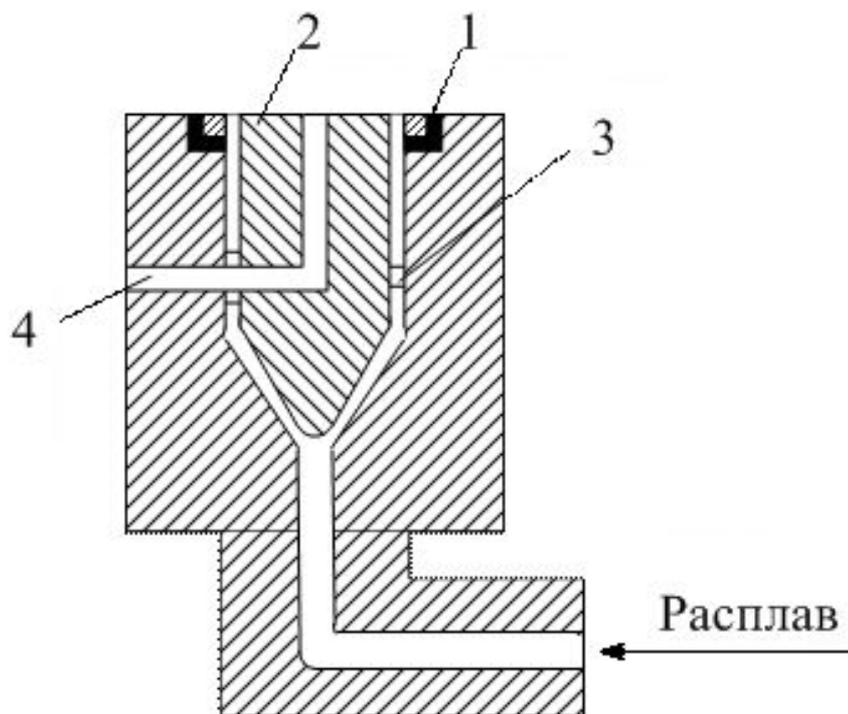
1 - экструдер; 2 - водяная ванна; 3 - охлаждающая стенка; 4 - отжимные валки; 5, 7 - нагреватели; 6 - промежуточные отжимные валки; 8 - направляющие щеки; 9 - подогреватель; 10 - охлаждающие валки; 11 - намоточное устройство

*I* - зона пневматического растяжения;

*II* - зона термофиксации

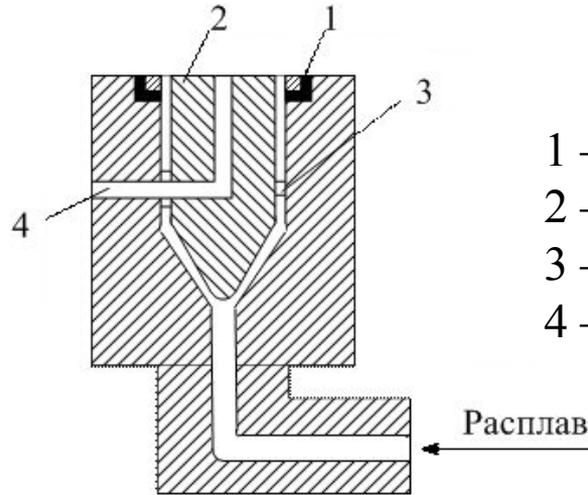
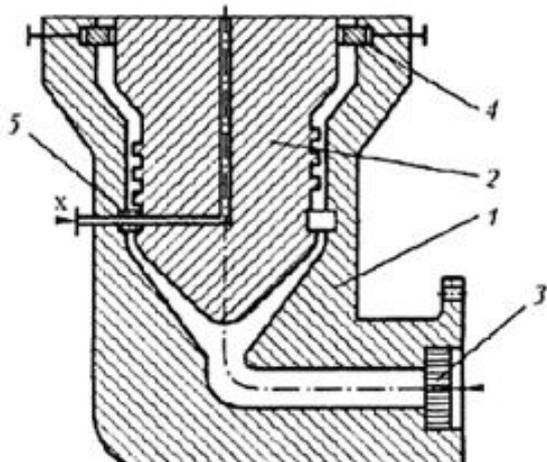
При экструзии через рукавную головку полимер поступает в формующий канал и, обтекая мундштук (дорн), выходит через кольцевую щель в виде круглой цилиндрической заготовки.

### Схема кольцевой головки

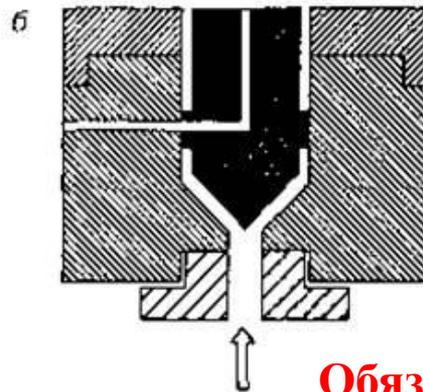
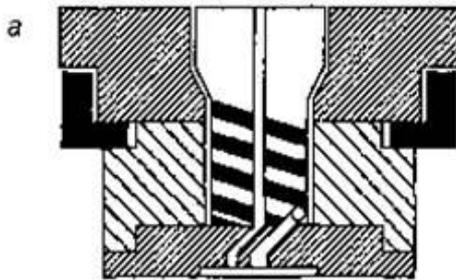


- 1 – регулируемые губки головки;
- 2 – мундштук;
- 3 – формующий канал;
- 4 – канал для подачи воздуха.

# Кольцевые экструзионные головки



- 1 – регулируемые губки головки;
- 2 – мундштук;
- 3 – формующий канал;
- 4 – канал для подачи воздуха



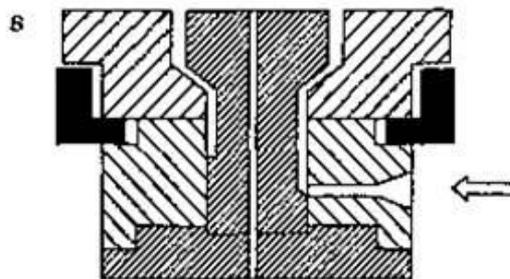
Центральная подача расплава

Спиральное  
распределе  
ние расплава

## Обязательное требование

Отсутствие застойных зон, равномерное и одинаковое по длине каналов движение расплава, равномерный, без пульсаций, выход рукава с равной по периметру толщиной стенки

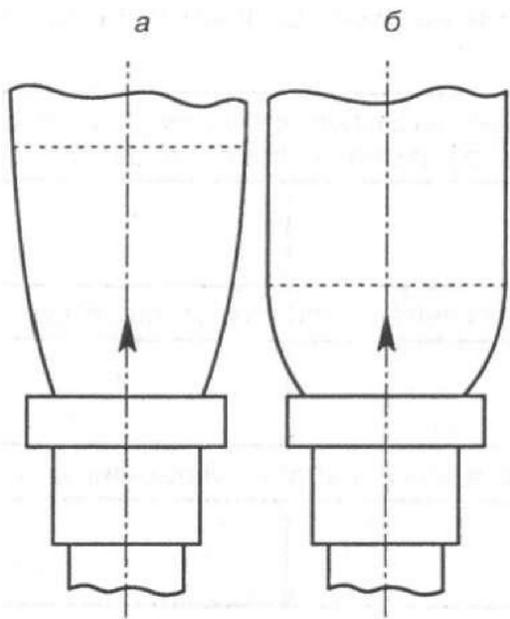
Боковая  
подача  
расплава



Заготовку раздувают до необходимого диаметра давлением воздуха, подаваемого через центр мундштука, с одновременным ее охлаждением (внутреннее охлаждение рукава). Для этого в мундштуке головки имеется канал для воздуха, который соединен с воздуходувкой. Раздув сопровождается уменьшением толщины стенки заготовки.

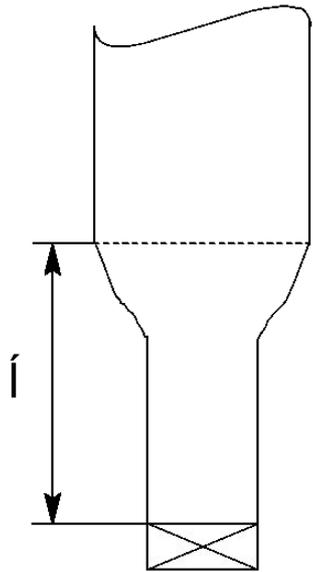
Выходящий из головки фильеры пленочный пузырь снаружи охлаждается воздухом из щели полого охлаждающего кольца. Момент затвердевания или начала кристаллизации четко просматривается как помутнение прозрачного рукава. До этой линии рукав растягивается по длине тянущими валками и одновременно раздувается по ширине воздухом, находящимся внутри рукава. Внутрь рукава воздух подается постоянно и равномерно для восполнения его потерь за счет неплотностей и диффузии через пленку.

Если продольная и поперечная ориентация при вытягивании и раздуве осуществляются практически одновременно, пленка получается равнопрочной и равнотолщинной во всех направлениях.

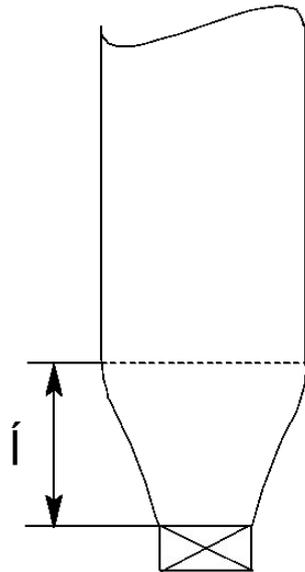


**Конфигурация пленочного рукава при медленном (а) и быстром (б) охлаждении**

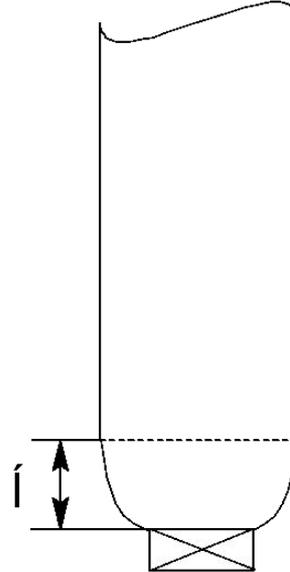
**Некоторые типичные формы рукавов пленки**



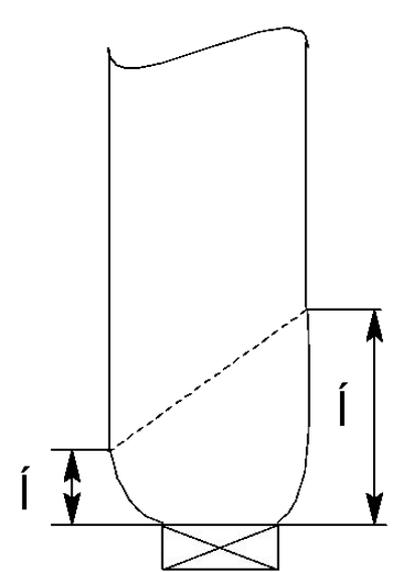
à



á

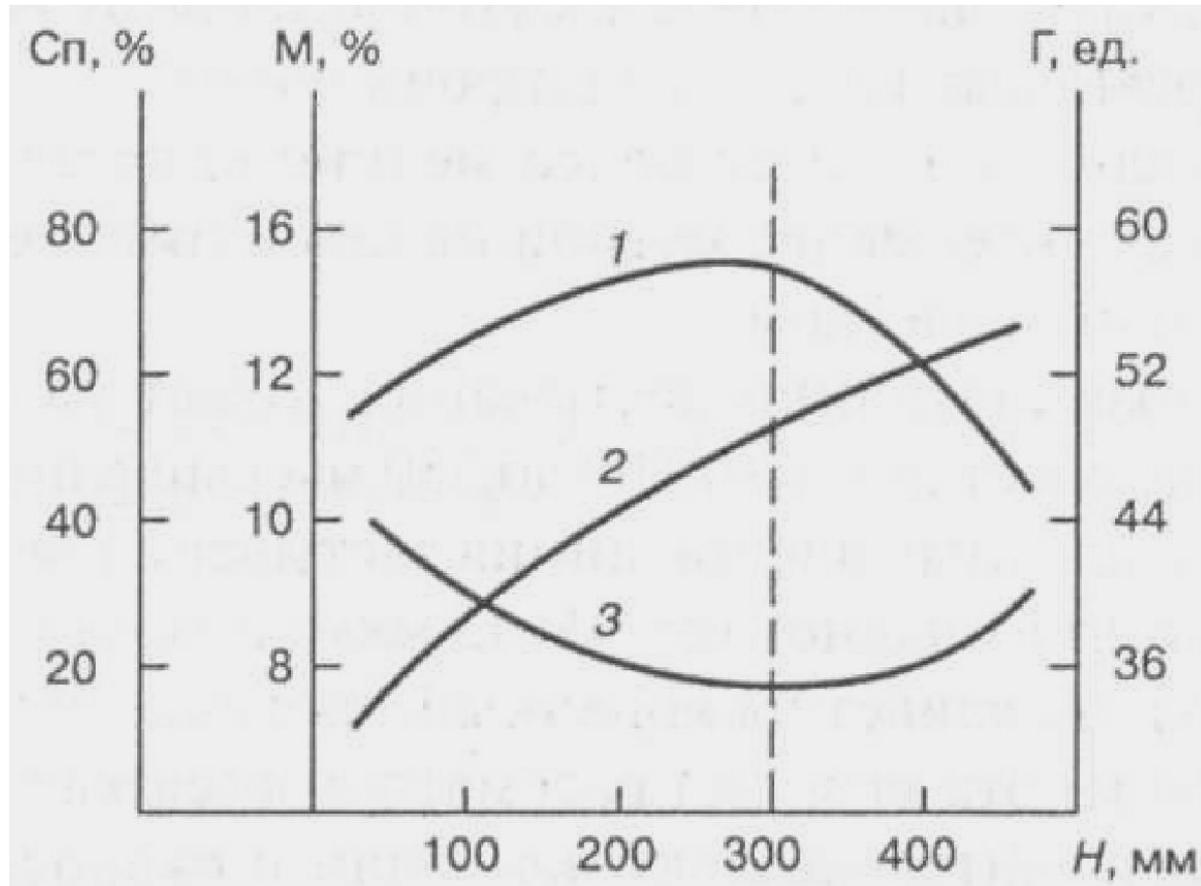


â



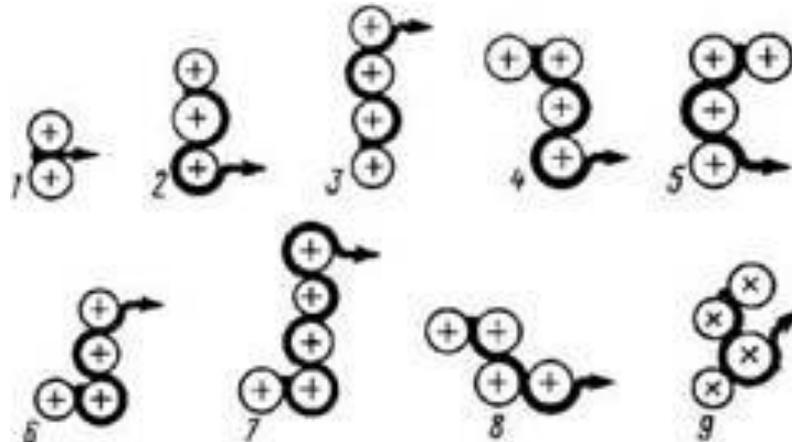
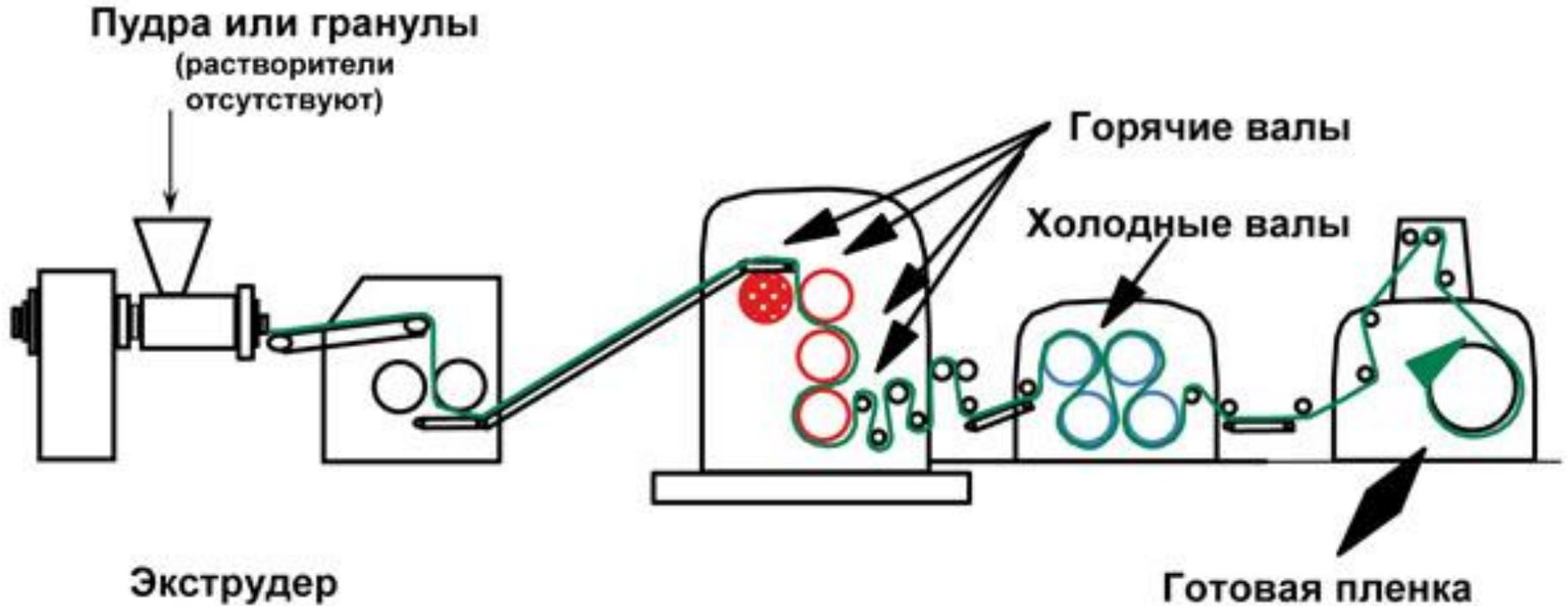
ã

# Влияние высоты линии кристаллизации Н на:

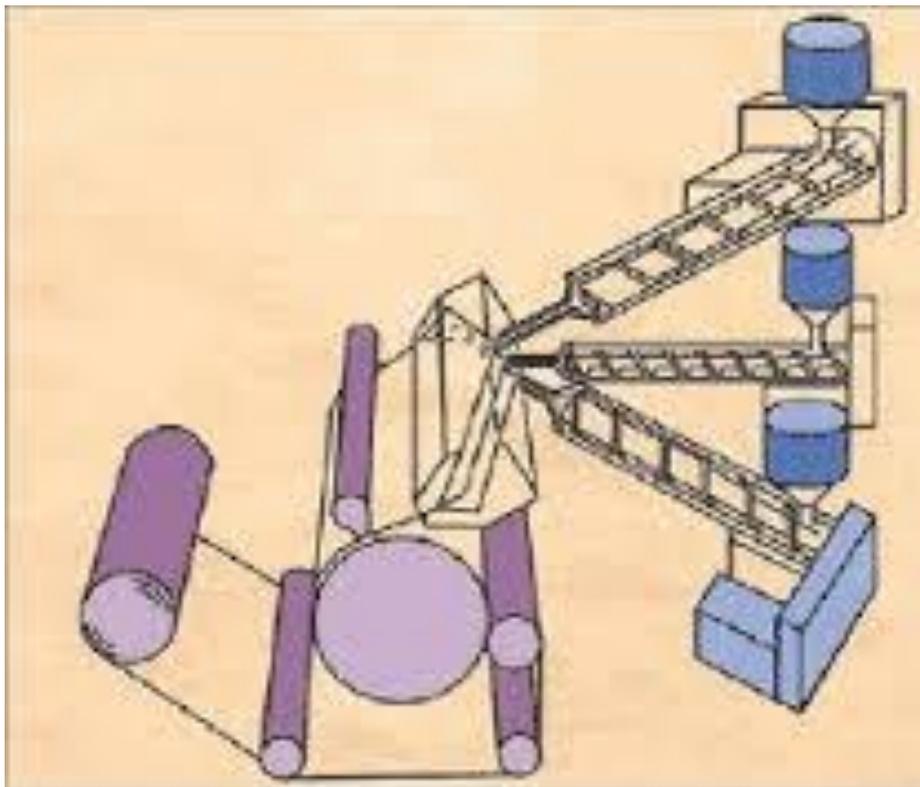


- 1 – глянец (Г) рукавных пленок из ПЭНП;
- 2 – мутность (М);
- 3 – светопропускание (Сп)

# Получение плоских пленок каландрованием



## Получение плоских многослойных пленок



# Виды полимерных пленок

- барьерные;
- ламинированные;
- металлизированные;
- «дышащие»;
- «молочные»;
- термоусадочные;
- стрейч-пленки;
- скин-пленки;
- водорастворимые пленки.

## Коэффициент проницаемости

$$P = \frac{Q \cdot l}{A \cdot t \cdot \Delta p}$$

$Q$  – масса вещества, прошедшего через материал;

$l$  – толщина полимерной пленки;

$A$  – площадь поверхности, открытой для массопереноса;

$t$  – продолжительность;

$\Delta p$  – изменение парциального давления проникающего вещества на толщине пленки

**Материал пленок****Преимущества****Недостатки****Спектр применения****Полиамид, PA**

PA сохраняет хорошие технические характеристики как при высоких, так и при низких температурах, отличается хорошей устойчивостью на истирание и износ, огнестойкостью и жиростойкостью. Пленки из PA отличаются хорошей прозрачностью, прочностью на прокол и барьерными свойствами по отношению к кислороду, углекислому газу и запахам. PA-6 по сравнению с PA-6.6 отличается лучшими внешними данными и удобнее в переработке. Материалы из полуароматического PA отличаются высокой жесткостью и прочностью, устойчивостью к растрескиванию. Полуароматический PA отличается высокой химической устойчивостью, водостоек, не подвергается гидролизу в контакте с горячей водой или паром. Материалы из него отличаются хорошими качествами поверхности, подходят для прозрачных применений.

PA гигроскопичен (особенно PA-6), разрушается под действием сильных кислот и полярных растворителей, отличается низкой стабильностью размеров, требует предварительной сушки перед переработкой. PA-6.6 отличается более низкой вязкостью, что затрудняет работу с материалом.

Из PA изготавливают барьерные однослойные и многослойные пленки для пищевой упаковки и непищевой упаковки (оболочки для колбас, сосисок, сыров, упаковка для замороженных продуктов, свежего мяса, соусов, снежков, кормов для животных и т.д.).

## Поливинилиден-хлорид, PVDC

По сравнению с пластифицированным ПВХ, PVDC отличается большей химической устойчивостью. PVDC прочен и огнестоек, характеризуется высокой прозрачностью и удобен в переработке. Пленки из PVDC отличаются хорошими барьерными свойствами по отношению к газам, парам воды, ароматам, жиростойкостью.

Недостатком пленок из стандартного PVDC являются ограничения по температурному режиму использования. Если материал не имеет специальных добавок, то при 5°C пленка становится ломкой. Также механические свойства ухудшаются при повышении температуры более 50°C. Продукты сжигания PVDC содержат токсичные вещества.

Пленки из PVDC используют в качестве термоусадочной обертки для мясoproдуктов и сыров, PVDC подходит для изготовления одноразовой посуды, blisterной упаковки, капсул и др.

## Поливинилхлорид, ПВХ

Материалы на базе ПВХ отличаются хорошими барьерными свойствами по отношению к влаге, прочностью, подходят для прозрачных применений.

Без использования специальных добавок жесткий ПВХ становится хрупким уже при 5°C. При температуре выше 50°C снижаются его технические свойства. ПВХ неустойчив к действию растворителей, а его плавка связана с определенными сложностями. Продукты сжигания ПВХ содержат токсичные вещества.

Пленки из ПВХ используют в blisterной упаковке. Из ПВХ изготавливают значительную часть термоусадочных и стретч-пленок как для упаковки промышленных изделий, так и для пищевых продуктов.

## Полиметил-акрилат, PMMA

Материалы из PMMA отличаются превосходной прозрачностью, стабильностью размеров, устойчивостью к действию ультрафиолета. PMMA удобен в термоформовке.

PMMA неустойчив к действию температур выше 80°C и химикатов, непрочен на износ и имеет невысокую ударную твердость.

PMMA используется в производстве жестких пленок высокой прозрачности для пищевых применений и blisterной упаковки.

<p><b>Полипропилен, PP</b></p>	<p>PP отличается высокой химической устойчивостью по отношению к неорганическим кислотам и щелочам, а также к спиртам, эфирам, растворителям. Материалы из PP технологичны, сохраняют механические свойства при повышенных температурах, пленки отличаются высокой усталостной прочностью. Пленки из PP имеют высокие барьерные свойства по отношению к газам и воде. Сополимеры PP характеризуются большей ударной прочностью и более эластичны по сравнению с гомополимером.</p>	<p>PP без специальных добавок становится хрупким при температуре ниже <math>-20^{\circ}\text{C}</math>, а при температурах выше <math>90^{\circ}\text{C}</math> утрачивает важные технические свойства. Стабилизаторы требуются и для повышения устойчивости к ультрафиолетовому излучению. PP разрушается под действием хлористых растворителей и ароматических углеводородов. Материалы из PP характеризуется низкой стойкостью к царапанию и плохой адгезией красочного покрытия. По сравнению с гомополимером, сополимеры полипропилена отличаются меньшей термостойкостью и большей усадкой при формовании.</p>	<p>Свойства PP широко востребованы в гибкой упаковке (пищевая, табачная и т.д.). PP уместен там, где упаковка предполагает высокотемпературную стерилизацию. Ориентированная пленка PP является барьерным материалом, имеющим к тому же превосходный внешний вид, и удобным для ламинирования, металлизации и нанесения печати. Неориентированные PP-пленки широко применяют для упаковки текстиля.</p>
<p><b>Полистирол, PS</b></p>	<p>Материалы из PS отличаются высокой прозрачностью, жесткостью конструкции, хорошей стабильностью размеров и удобством в обработке.</p>	<p>Существенным недостатком PS является высокая хрупкость даже при комнатной температуре. Выше <math>70^{\circ}\text{C}</math> заметно ухудшаются его механические свойства. PS нестойк к действию агрессивной среды, особенно органических растворителей, чувствителен к действию ультрафиолетового излучения. Кроме того, PS легко возгорается, а при горении выделяет в воздух токсичные вещества.</p>	<p>PS используют в производстве упаковки для молочных продуктов, лотков для мясной, овощной и фруктовой продукции. Также из PS изготавливают упаковку для CD и других промышленных товаров.</p>

<p><b>Полиэтилен, PE</b> (низкой плотности - LDPE, линейный - LLDPE)</p>	<p>Главным значимым преимуществом PE по сравнению с другими полимерами является его низкая цена, которая в сочетании с хорошей химической устойчивостью, удобством в переработке, а также водостойкостью делает его незаменимым во многих упаковочных применениях. Еще одно важное качество PE - сохранение механических свойств материалов из него даже при низких температурах.</p>	<p>Среди недостатков PE - низкая устойчивость на изгиб, что вызывает растрескивание под действием напряжения. Кроме того, конструкции из PE отличаются невысокой жесткостью, которая особенно снижается даже при незначительном повышении температуры. Полиэтиленовые пленки пропускают газы и ультрафиолет. PE низкой плотности особенно мутный, прозрачными могут быть только очень тонкие пленки. LLDPE отличается большей технологичностью, удобством в переработке.</p>	<p>PE (LDPE, LLDPE) используется для простейших упаковочных применений - различного рода пленки, пакеты, мешки-вкладыши, разнообразная упаковка (особенно успешно для замороженных продуктов). Также PE используется в качестве ламината для покрытия бумаги, картона и др. материалов. В сельском хозяйстве полиэтиленовая пленка широко применяется в качестве укрывного материала.</p>
<p><b>Полиэтилен-терефталат, PET</b></p>	<p>Материалы из PET (ПЭТФ) отличаются хорошей прочностью и жесткостью, низкой проницаемостью по отношению к газам, особенно, углекислому. ПЭТФ устойчив к действию разбавленных кислот и щелочей, эфиров, жиров. Пленки из ПЭТФ пригодны к прозрачным применениям, пропускают микроволновые лучи.</p>	<p>ПЭТФ отличается невысокой термостойкостью, так что деформируется уже при действии кипящей воды. Он легко разрушается под действием щелочей, а при температуре выше 60°C теряет устойчивость перед кетонами, ароматическими и хлористыми углеводородами, разбавленными кислотами и основаниями.</p>	<p>Из ПЭТФ изготавливают прозрачные упаковочные пленки для пищевых продуктов. Металлизированные ПЭТФ-пленки применяются в упаковке сэндвичей. Значительная часть материалов идет на термоформовку для производства контейнеров, бутылок, банок (пищевые применения, косметика). Кроме упаковки, имеется большое число других пленочных применений для ПЭТФ - пленки для фото- и рентгенографии, аудио- и видеопленки, ламинаты для визитных карточек, стерильная медицинская обмотка.</p>

<p><b>Полиэтилен-терефталат-гликоль, PETG</b></p>	<p>Материалы из PETG характеризуются хорошей прочностью, удобством в обработке и формовании.</p>	<p>PETG не отличается термостойкостью, что не позволяет применять его при температуре выше 60°C. Также материалы из PETG разрушаются под действием ультрафиолета.</p>	<p>Пленки из PETG находят применение в фармацевтической и пищевой упаковке.</p>
<p><b>Стиролметил-метакрилат, SMMA</b></p>	<p>SMMA отличается очень высокой прозрачностью и превосходным внешним видом. Он достаточно прочен, легко перерабатывается и поддается печати.</p>	<p>SMMA разрушается под действием ультрафиолета, ароматических углеводородов, галогенизированных компонентов, ненасыщенных масел и концентрированных кислот.</p>	<p>SMMA применяется в жесткой медицинской упаковке и демонстрационной упаковке.</p>
<p><b>Циклоолефиновый сополимер, COC</b></p>	<p>COC характеризуется высокими барьерными свойствами к воде, высокой прозрачностью и стабильностью размеров. Упаковка из COC допускает стерилизацию паром.</p>	<p>Материалы из COC неустойчивы к растрескиванию.</p>	<p>COC применяется в изготовлении блистерной фармацевтической упаковки, прозрачных пленок для пищевых нужд.</p>

<p><b>Этиленвинил-ацетат, EVA</b></p>	<p>EVA устойчив к действию ультрафиолета. Материалы на базе EVA отличаются большим сопротивлением на разрыв по сравнению с LDPE, сохраняют хорошие механические свойства даже при низких температурах, прекрасно сочетаются с большинством других эластомеров.</p>	<p>EVA характеризуется невысокой термической устойчивостью, подвергается действию полярных растворителей, углеводов, оксидантов и сильных кислот. EVA уступает полиэтилену в барьерных свойствах и ползучести.</p>	<p>Из EVA изготавливают стретч-пленки. Материалы на базе EVA используются в многослойной пищевой упаковке в качестве сварного слоя, служат ламинатом для бумаги и картона.</p>
<p><b>Этиленвиниловый спирт, EVOH</b></p>	<p>EVOH отличается исключительными барьерными свойствами по отношению к газам - кислороду, азоту, углекислому газу, гелию, а также к запахам. EVOH характеризуется высокой устойчивостью к действию хлорсодержащих растворителей, эфиров, алкоголей, жиров и углеводов. Пленки на базе EVOH подходят для изготовления прозрачных пленок, хорошо воспринимают печать, легко спаиваются с полиамидами.</p>	<p>Главным недостатком EVOH является неустойчивость к действию влаги, которая разрушает структуру материала и устраняет барьерные свойства. Из-за этого пленки из EVOH применяются в основном в сочетании с другими полимерами, не пропускающими воду и ее пары. Однако при этом, поскольку с большинством полимеров EVOH сцепляется плохо, для его соединения, как правило, необходимо наносить специальный слой. Также EVOH не устойчив к кислотам и другим окислителям, плохо переносит высокие температуры.</p>	<p>Наиболее распространенное применение EVOH - в качестве барьерного слоя в многослойной упаковке для сырого и приготовленного мяса, а также в жестких многослойных системах для фасовки соусов, соков, пищевых масел. Также пленки из EVOH востребованы в упаковке химикатов и косметической продукции.</p>
<p><b>Этиленметил-акрилат сополимер, EMAC</b></p>	<p>Материал отличается хорошими барьерными свойствами, высокой прозрачностью, устойчив к растрескиванию, проколу, действию растворителей и жиров, сохраняет жесткость при низких температурах,</p>	<p>Материал неустойчив к действию кислот и атмосферному выветриванию, по сравнению с полиэтиленом он отличается меньшей ползучестью.</p>	<p>EMAC используется для изготовления пакетов и блистерной упаковки, а также многослойных пищевых контейнеров.</p>

# Модификация полимерных пленок

## Модификация механических свойств

- Ориентация
- Кристаллизация
- «Сшивание»

## Химическая модификация

- Фторирование
- Хлорирование
- Бромирование
- Сульфирование
- Химическое травление
- Прививка