

О.И. Николаева, В.А. Бурмистров

**КОНСТРУКЦИИ И РАСЧЕТЫ ВАЛКОВЫХ МАШИН
ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРОВ**

Учебное пособие

Иваново 2014

Министерство образования и науки Российской Федерации
Ивановский государственный химико-технологический университет

О.И. Николаева, В.А. Бурмистров

КОНСТРУКЦИИ И РАСЧЕТЫ ВАЛКОВЫХ МАШИН ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРОВ

Учебное пособие

Под редакцией чл.-корр. РАН О.И.Койфмана

Допущено учебно-методическим объединением по образованию в области химической технологии и биотехнологии в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки «Химическая технология»

Иваново 2014

УДК 678.05 (07)

Николаева, О.И.

Конструкции и расчеты валковых машин для переработки полимеров: учебное пособие / О.И. Николаева, В.А. Бурмистров; под редакцией чл.-корр. РАН О.И. Койфмана; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. –Иваново, 2014.-116 с. ISBN 978-5-9616-0502-0

В учебном пособии аккумулированы и систематизированы основные сведения о валковом оборудовании. Рассмотрены основные технологические и конструктивные аспекты проектирования валковых машин для переработки полимерных и других материалов, вопросы моделирования процесса пластичности на вальцах и каландрах. Изложены рекомендации к выполнению технологических и тепловых расчетов этого оборудования, а также приведены их примеры.

Предназначено для студентов всех форм обучения по направлению 240100 «Химическая технология» и может быть использовано при выполнении курсовых и дипломных проектов по разработке валкового оборудования для переработки полимерных материалов.

Табл. 10. Ил. 20. Библиогр.: 33 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Ивановского государственного химико-технологического университета.

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор Ю.Т. Панов (Владимирский государственный университет); директор ФГУП «Ивановского научно-исследовательского института пленочных материалов и искусственной кожи» Д.М. Васильев

ISBN 978-5-9616-0502-0

© О.И. Николаева,
В.А. Бурмистров, 2014
© ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный химико-технологический университет», 2014

ВВЕДЕНИЕ

Валковыми машинами называют машины, предназначенные для переработки полимерных материалов (ПМ) в изделия или для осуществления каких-либо стадий процессов получения полимерных материалов, в которых обрабатываемый материал подвергается деформированию или измельчению в зазоре между вращающимися цилиндрическими валками, которые служат основными рабочими органами этих машин. Переработка ПМ на валковых машинах занимает важное место в промышленности пластических масс при получении пленочных и листовых материалов, а также в резиновой промышленности, где данное оборудование было использовано впервые. Наиболее широко распространенными валковыми машинами являются вальцы и каландры. Валков может быть несколько (2÷5 и более), оси их располагаются, как правило, параллельно друг другу и горизонтально. Процессы переработки полимеров на каландрах и вальцах во многом аналогичны.

В промышленности пластмасс и резины на валковых машинах осуществляются следующие *виды обработки материалов*:

1) пластикация (повышение текучести материала в результате его деформации как вследствие нагрева, так и тиксотропии), смешение (увеличение однородности распределения компонентов по объему многокомпонентной системы) и диспергирование (уменьшение характерных размеров частиц неоднородной системы);

2) подогрев материала перед загрузкой в другие перерабатывающие машины;

3) рафинирование (очистка от крупных твердых включений);

4) дробление;

5) получение листов или пленок;

6) нанесение полимерных покрытий на слоистую (например, тканевую) основу;

7) получение многослойных листовых полимерных материалов (дубли-

рование);

8) профилирование заготовок, улучшение поверхности или тиснение рисунка на пленочных (листовых) материалах;

9) охлаждение.

Применяемые при переработке пластмасс высокие температуры и повышенные требования к качеству листов и пленок потребовали определенной модификации валковых машин.

Валковые машины обычно используются в составе технологических линий. Если питание каландров осуществляется от вальцов, их называют вальцово-каландровыми. Такие линии широко используются для массового выпуска полимерных пленок и листов. Наиболее перспективны экструзионно-каландровые линии, где каландр питается от экструдера. В таких линиях сочетаются достоинства как экструзионного, так и каландрового методов. Использование непрерывных технологических схем даёт возможность автоматизировать процесс и получать высококачественные пленочные и листовые материалы.

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

1.1. Краскотёрки

Валковые машины, совершающие перетиравание материала в зазоре между валками, вращающимися с различной скоростью, называют *краскотерками*.

Работа краскотерок заключается в следующем. Из загрузочного устройства затираемый материал, состоящий из смеси пластификатора и измельчаемых твердых частиц, захватывается в клиновидную щель между валками или валком и бруском и продавливается через канал в ней (рис.1). Краскотерки отличаются друг от друга величиной, количеством и расположением валков.

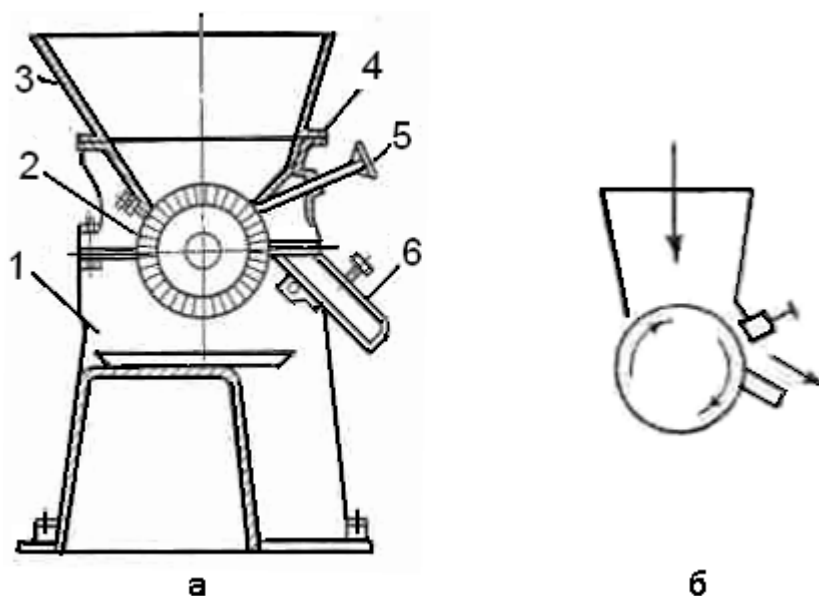


Рис. 1. Одновалковая краскотерка (а) и её схема (б): 1 – станина; 2 – валок; 3 – загрузочная воронка; 4 – рафинирующий брус; 5 – штурвал; 6 – фартук

Первый конструктивный тип валковой краскотерки имел три валка. В целях сокращения числа повторных пропусков материала через машину количество валков в одном аппарате было увеличено вначале до 5, затем до 8 и, наконец, до 10 валков при объединении в одном агрегате двух краскотерок, стоящих одна над другой. Однако такое увеличение числа валков сделало краскотерки громоздкими и труднорегулируемыми и усложнило уход за ни-

ми. В результате появились краскотерочные машины с одним и двумя валками.

Одновалковые краскотерки являются наиболее простыми (рис.1), применяются обычно для окончательной обработки перетираемых материалов. Перетир и фильтрование производятся с помощью бруса. Перетирочный брус представляет собой брусок из специального сорта стали или чугуна, плотно прилегающий к валку и имеющий скошенную кромку на входе материала. Брус, состоящий из двух частей - перетирочной и фильтрующей, имеет острую кромку на входе краски и пропускает только частицы заданных размеров. Такая конструкция бруса обеспечивает возврат труднодиспергируемых частиц для повторного перетира.

Одновалковая машина может работать и как фильтрующая – для удаления из пасты крупных частиц и агрегатов, а также посторонних примесей, попавших в замес и загрязняющих готовую продукцию. Перетирочный брус при этом заменяется рафинирующим брусом **4**, который задерживает загрязнения и волокнистые материалы, имеющие размер меньший, чем щель между валком **2** и перетирочным брусом машины. Частота вращения валка машины 200 об/мин. Диаметр главного вала 280÷400 мм, длина 600÷900 мм. Фильтрующие одновалковые краскотерки применяются в производстве эмалей для их фильтрования.

Двухвалковая краскотерочная машина применяется главным образом для диспергирования паст жидкой консистенции. Частота вращения нижнего вала до 250 об/мин, верхнего 100-120 об/мин, число колебаний верхнего вала вдоль оси в 1 минуту до 10, диаметр нижнего вала 220÷350 мм, его длина 500÷800 мм, верхнего вала до 250 мм. В таких машинах (рис.2) верхний валок **2**, покрытый диспергируемой пастой, вращается внутри загрузочной воронки **1**. Ко второму валку **5**, расположенному ниже первого, прилегает по всей длине перетирочный брус **4**, который служит для повторного диспергирования. Щель между нижним валом и брусом **4** регулируется с помощью

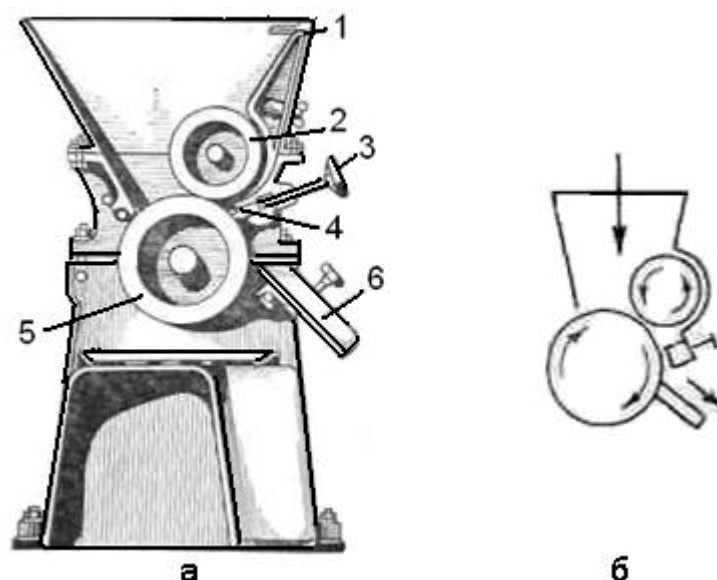


Рис. 2. Двухвалковая краскотерка (а) и её схема (б): 1 – загрузочная воронка; 2,5 – валки; 3 – штурвал; 4 - перетирочный брус; 6 - фартук

штурвала **3**. Частицы пасты, не прошедшие через щель, поднимаются верхним валом вверх и снова попадают на первичное диспергирование между валками. Верхний вал кроме вращательного имеет возвратно-поступательное движение вдоль оси, в результате которого улучшается качество диспергирования. Из-за сложности конструкции и небольшой производительности данная краскотерка применяется редко.

Многовалковые краскотерочные машины, характеризующиеся увеличенным числом линий перетира, выпускают с горизонтальным, вертикальным и наклонным расположением валков. Более удобными для загрузки и занимающими меньше места являются машины с вертикальным и наклонным расположением валков, при этом эти краскотерки отличаются сложностью в изготовлении. Наибольшее распространение для диспергирования вязких пигментных паст получили трёхвалковые краскотерки различных размеров и конструкций (рис. 3, 4).

В трёхвалковых краскотерках паста из загрузочной воронки поступает в щелевой зазор, образованный двумя вращающимися в противоположные стороны валками, которые ее захватывают и продавливают через этот зазор. При этом валок, имеющий ббольшую скорость вращения после прохождения пасты

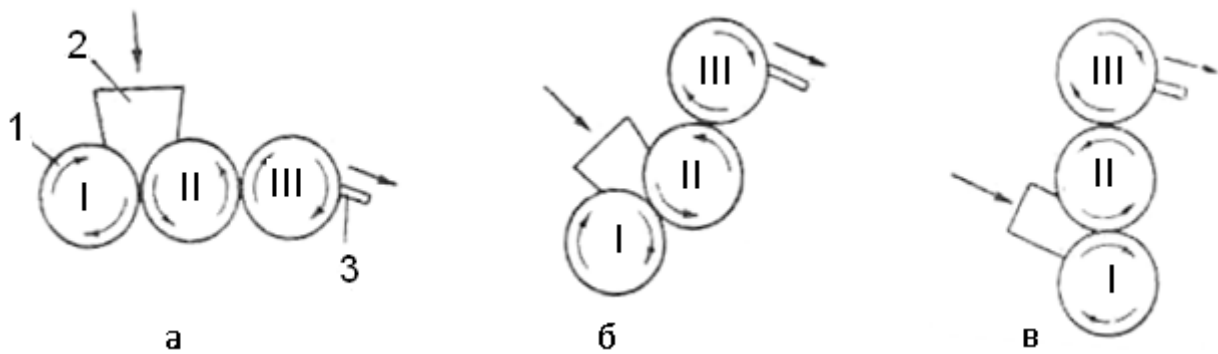


Рис. 3. Схемы расположения валков в трехвалковых краскотерочных машинах: а - горизонтальное; б - наклонное; в - вертикальное; 1 - валок; 2 - загрузочная воронка; 3 - нож

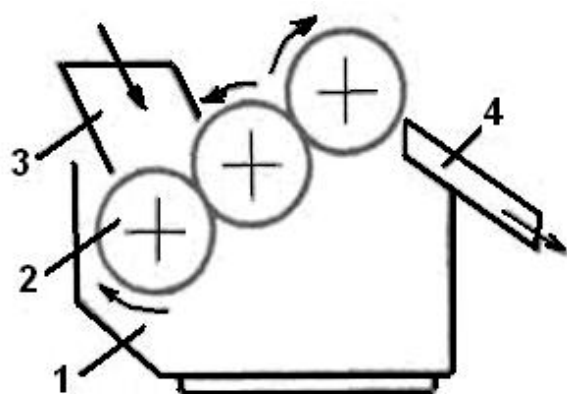


Рис. 4. Трехвалковая краскотерка с наклонным расположением валков: 1 – корпус; 2 – валок; 3 - загрузочная воронка; 4 - разгрузочный лоток

через зазор, снимает массу с поверхности валка с меньшей скоростью вращения и переносит в аналогичный, но меньший зазор между этим и следующим валком. Крупные частицы под воздействием значительных тангенциальных сил в зазорах между валками разрушаются и распределяются в жидком компоненте смеси. С последнего по направлению движения пасты валка она снимается ножом и направляется по лотку в приемную емкость. Число пропусков пасты через валки зависит от свойств добавляемых твёрдых ингредиентов (стабилизаторов, наполнителей, пигментов и т.д.), режима обработки и настройки машины. Диспергирование пасты происходит вследствие различия окружных скоростей валков за счет сил прижима и сдвига. Наиболее часто встречающееся соотношение скоростей валков 1:2:4 и 1:3:9. Средний валок

чаще всего является приводным валом. Диаметр валков равен 100÷400, длина 250÷1000 мм. Частота вращения переднего валка краскотерок составляет 250÷300 об/мин. Технические характеристики трехвалковых краскотерок представлены в табл. 1.

Таблица 1

Технические характеристики трехвалковых краскотерок

Наименование краскотерки	Размер валков, мм		Окружная скорость валка, м/с			Число скоростей	Вместимость сосуда, л	Прижим	Мощность электродвигателя, кВт	Расход охлаждающей воды, м ³ /ч	Давление охлаждающей воды, МПа	Габаритные размеры, мм	Масса, т	
	диаметр	длина	переднего	среднего	заднего									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
DSGH 10D («Драйс-верк» Германия)	450	1000	Первая – 0,46 вторая – 1,75	Первая – 1,09 вторая – 2,26	Первая – 2,50 вторая – 6,18	2	500	Гидравлический	36	3,0	0,1 ÷ 0,2	1650 × × 3300 × × 1460	8,4	
HWP 322-f3 («Поли-мекс» Польша)	322, 5	800	Первая – 0,34 вторая – 0,50	Первая – 1,01 вторая – 1,51	Первая – 3,03 вторая – 4,55	2	250		$\frac{18}{15}$	2,24	0,2	2460 × × 1500 × × 1420	3,9	
КА – 50 («Buzuluck» Чехия)	320	800	Первая – 1,60	Первая – 3,20	Первая – 4,80	1	200		Механический	14	1,5	0,2	2450 × × 1650 × × 1060	2,1
KB – 31 («Buzuluck» Чехия)	300	800	Первая – 0,65	Первая – 1,30	Первая – 3,10	1	150			10,5	1,5	0,2	2450 × × 1650 × × 1060	2,1

Окончание табл.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Z-31 (Швейцария)	250	550	'	'	'	1	130	Гидравлический	11,4	0,8	0,3	1250× × 1650 × × 1210	2,2
(г. Вольск, Россия)	300	900	'	'	'				22			2100 × × 1700 × × 1400	
НЕИА- 4.008 ("ЯРПО- ЛИМЕР- МАШТАТ- НЕФТЬ", Россия)	320	800							30,4			2360 × × 1410 × × 2175	3,55

Основными требованиями, предъявляемыми к продукции, прошедшей обработку на краскотерочных машинах, являются - необходимая степень дисперсности твердых частиц и однородность красочной пасты, определяемые равномерностью распределения частиц пигмента в связующем и полнотой их смачивания.

1.2. Вальцы

Валковая машина, в которой переработка полимерного материала осуществляется в зазоре между параллельно расположенными и вращающимися навстречу друг другу полыми валками, называется *вальцами*. Такие машины применяются в производстве полимерных материалов и при обработке полимерных смесей (*виды обработки* по п.п. 1-4). Соответствующую группу процессов п.п. 1-4 называют вальцеванием. На вальцах может осуществляться и окончательный технологический процесс формования листа, полотна, пленки. Однако такой процесс проводят обычно на каландрах.

Вальцевание является подготовительным способом и используется в

основном при переработке термопластов для смешения полимеров с красителями, пластификаторами, пигментами с целью наполнения и окрашивания готовых порошкообразных и гранулированных материалов, для пластикации и смешения жестких композиций при производстве винипласта, а также для приготовления фенольных пресс-порошков, перетира композиций при получении различных паст.

Отличие вальцевания от каландрования заключается главным образом в технологических особенностях, которыми и обусловлены некоторые конструктивные отличия в оборудовании.

Перерабатываемый материал подается на вальцы в виде отдельных кусков, а также в виде порошкообразных или волокнистых масс. Смешение на вальцах может осуществляться непрерывно и периодически. Схемы обработки полимерной массы на вальцах периодического и непрерывного действия показаны на рис. 5 и 6.

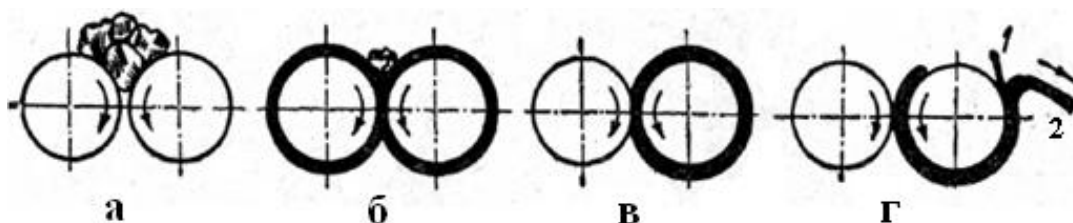


Рис. 5. Схема обработки полимерной массы на вальцах периодического действия: 1 – нож; 2 – срезаемая полоса материала; а - загрузка; б - вальцевание; в - конец вальцевания; г - срез массы

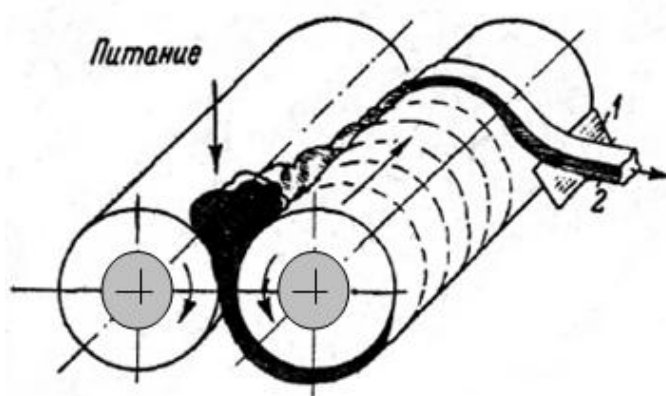


Рис. 6. Схема обработки полимерной массы на вальцах непрерывного действия: 1 – нож; 2 – срезаемая часть материала

На вальцах перемешивание материала осуществляется в зазоре между параллельно расположенными вращающимися навстречу друг другу валками. Валки вращаются с разными окружными скоростями.

Отношение окружной скорости вращения заднего валка v_3 к окружной скорости переднего валка v_n называется фрикцией f :

$$f = \frac{v_3}{v_n} = \frac{D_3 n_3}{D_n n_n}, \quad (1)$$

где D_3 и D_n - диаметры заднего и переднего валков, мм;

n_3 и n_n - число оборотов заднего и переднего валков, об/мин.

При $D_3 = D_n$ $f = \frac{n_3}{n_n}$.

Валки обычно изготавливают полыми и снабжают системой обогрева, а иногда и охлаждения. Как правило, при переработке резиновых смесей валки охлаждаются, при вальцевании пластмасс – нагреваются. Для обогрева используют насыщенный или перегретый пар, горячую воду и электричество, для охлаждения – холодную воду. Схема обогрева может применяться, в том числе, для охлаждения валков (рис. 7).

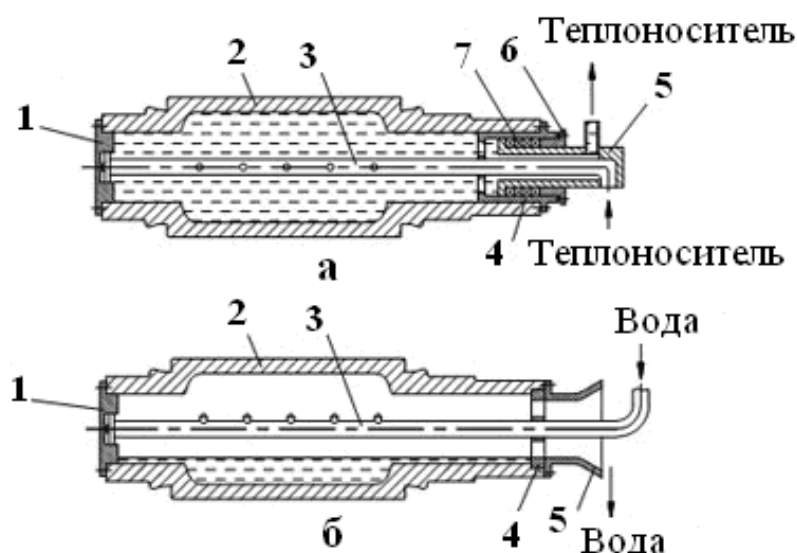


Рис. 7. Схемы обогрева (а) и охлаждения (б) валков: 1 – реборда; 2 – валок; 3 – труба; 4 – направляющая втулка; 5 – патрубок для подачи теплоносителя; 6 – нажимная крышка; 7 – сальниковое уплотнение

В кольцевом зазоре направляющей втулки 4 и нажимной крышки 6 устанавливается сальниковое уплотнение 7. Теплоноситель подается по трубе 3, расположенной внутри валка 2. Центровка трубы обеспечивается ребордой 1. Схема охлаждения предполагает подвод воды по трубе, которая проходит во внутреннюю полость валка. Для того чтобы вода выходила на внутреннем участке трубы, на рабочей части валка есть форсунки, сквозь которые распыляется вода со скоростью 6-12 м/с, орошая поверхность валков. Далее вода собирается внизу и заполняет полость валка. Вода проходит через отверстия в направляющей втулке 4 и собирается в сливной воронке, затем в сборнике, после чего выбрасывается в канализацию. Каждый валок имеет систему регулирования температуры. Величину зазора между валками регулируют перемещением одного из них (обычно переднего) с помощью специальных устройств.

Ингредиенты, подлежащие смешению, загружаются на вальцы, захватываются в зазор между валками, в котором и происходит их смешение, сжатие, раздавливание и истирание. Процесс смешения сопровождается выделением тепла за счет деформации материала. Условие, при котором полимерный материал будет затягиваться в зазор между валками, определяется соотношением величин углов захвата α и трения массы о поверхность валка ρ .

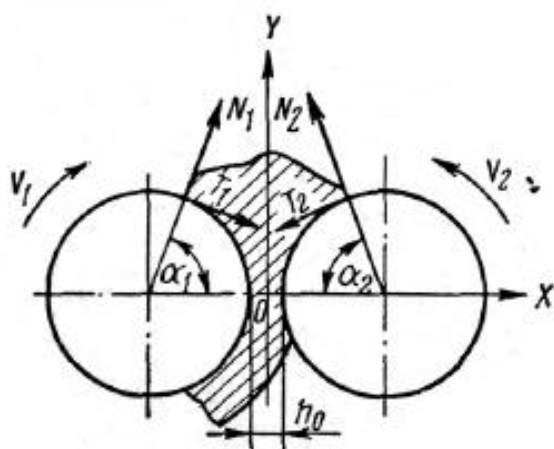


Рис.8. Схема захвата смеси валками

Силы трения материала о поверхность первого и второго валков (соответственно T_1 и T_2) зависят от величины нормальных сил N_1 и N_2 (рис.8) и коэффициентов трения массы о поверхность валков (f_1 и f_2).

При выходе из зазора материал прилипает к рабочему валку – более горячему и вращающемуся с меньшей

скоростью.

$$T_1 = N_1 f_1 = N_1 \operatorname{tg} \rho_1, \quad (2)$$

$$T_2 = N_2 f_2 = N_2 \operatorname{tg} \rho_2. \quad (3)$$

Валки воздействуют на узкий движущий клин материала, который подвергается интенсивной деформации сдвига и одновременно проталкивается в зазор. Проходя через зазор между валками, полимер переходит в вязкотекучее состояние.

Картина движения полимера в зазоре между двумя вращающимися валками выглядит следующим образом. При одинаковых окружных скоростях обоих валков (рис. 9) вблизи их поверхности материал течет более или менее параллельно валкам в сторону минимального зазора. В центре зазора, в начале движения клина наблюдается противоток. В конце клина этот противоток имеет две зоны завихрений с замкнутыми линиями тока. В центре этих зон перемещение материала отсутствует. Образуется так называемый “запас” материала. Координаты центров зон зависят в основном от величины загрузки. Изменение скорости вращения валков и величины зазора между ними не влияет на картину течения в области “запаса”. При изменении количества загружаемого материала наблюдается лишь смещение координат центров “запаса”. Существование замкнутых линий тока - “запаса” - является причиной неравномерного распределения ингредиентов в массе материала.

Для интенсификации процесса смешения на вальцах устанавливаются валки с разной температурой и с различной скоростью вращения (фрикцией). Рабочий валок более горячий и с меньшей скоростью вращения. Фрикция оказывает существенное влияние на картину течения (рис. 10). С появлением фрикции область противотока смещается в сторону тихоходного валка и тем сильнее, чем выше фрикция. При этом происходит также смещение центра одного из завихрений в сторону от оси симметрии. Фрикция позволяет значительно улучшить качество смешения. Однако линии тока все же остаются замкнутыми, и поэтому вальцевание материала на вальцах с фрикцией

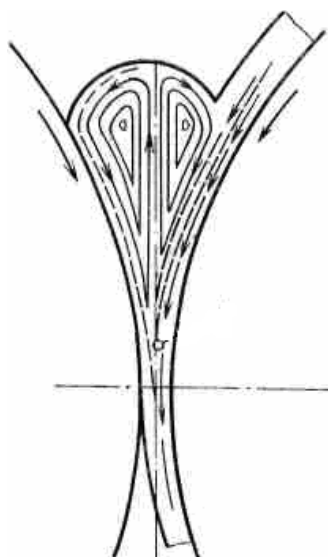


Рис. 9. Механизм вальцевания полимеров при одинаковых скоростях валков

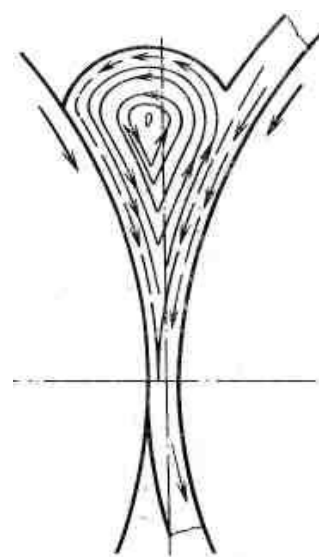


Рис. 10. Механизм вальцевания полимеров при фрикции 1:2

не отвечает полностью требованиям, предъявляемым к идеальному смесителю.

На процесс вальцевания влияет также величина зазора между валками. Зазор регулируется с помощью механизма, имеющего свой приводной электродвигатель, червячный редуктор и ходовой винт, связанный с подшипником, в котором расположены шейки валка.

Процессы гомогенизации, смешения и пластикации требуют многократного пропускания массы через зазор между валками и могут, как отмечалось выше, осуществляться периодически и непрерывно.

На вальцах периодического действия (рис. 5) масса после загрузки одной или нескольких партий, вследствие налипания на валок, проходит зазор между валками неоднократно. Дополнительное смешение происходит за счет неравенства окружных скоростей валков и подрезки материала на отдельных участках по длине валка. Число пропусков массы через зазор определяется экспериментально. Провальцованная масса срезается с валка ножом и направляется для дальнейшей обработки.

На вальцах непрерывного действия (рис. 6) масса непрерывно подается

с одного конца валков, проходит лентой между валками в течение определенного времени (для каждого вида материала время определяется экспериментально), совершая при этом вращательное и поступательное движение вдоль образующей валка, то есть перемещается к другому концу валков по винтовому пути и там непрерывно срезается в виде узкой ленты.

Срезание материала и подача его в зазор нарушают замкнутость линий тока и обеспечивают перемещение материала вдоль образующей валка, что способствует повышению качества смешения.

Технология непрерывного вальцевания является прогрессивной, так как при этом исключается непроизводительная работа вальцов во время загрузки, выгрузки и между циклами и облегчается решение задачи механизированной подрезки массы для интенсификации ее перемешивания.

Поведение полимера или материала в зазоре между валками позволяет сделать следующие выводы:

- основной перерабатывающий эффект достигается вблизи минимального зазора, где скорости сдвига имеют наибольшее значение; однако эта область мала, а большая часть “запаса” материала находится в зоне малых скоростей сдвига;

- в области деформации существуют замкнутые траектории движения слоев материала (рис. 9); отсутствие осевого перемещения также снимает смешительный эффект валков, а фрикция лишь незначительно его улучшает; это приводит к необходимости осуществлять в процессе работы вальцов подрезку перерабатываемого материала.

Вальцы (как и каландры) можно классифицировать по конструктивным и технологическим признакам.

С точки зрения конструктивных признаков (диаметра, длины валков и скорости вращения) вальцы делятся:

- 1) по диаметру (D) и длине (L) валков:

- на вальцы легкого типа (D=300, 500 мм; L=800 мм);

- среднего типа ($D=550$ мм; $L=1500$ мм);
 - тяжелого типа ($D=660$ мм; $L=2100$ мм);
- 2) величине фрикции (f) между передним и задним валками:
- $f=1,08; 1,11; 1,27; 1,29; 1,39; 1,41; 2,55; 4,0$;
- 3) расположению валков:
- в горизонтальном направлении;
 - вертикальном направлении;
- 4) виду поверхности валка:
- гладкая;
 - рифленая;
- 5) числу машин в агрегате:
- индивидуальные;
 - сдвоенные;
 - групповые;
- б) природе теплоносителя:
- с водяным охлаждением;
 - паровым обогревом;
 - электрическим обогревом.

По технологическому назначению вальцы для переработки пластических масс делятся: на смесительные, смесительно-листовальные, регенератно-смесительные, смесительно-подогревательные, подогревательные, дробильные, размалывающие, рафинирующие, промывные, питающие, лабораторные.

Смесительные вальцы служат для введения в полимерную смесь отдельных компонентов, а также для гомогенизации и охлаждения полимерных смесей после выгрузки из роторных или червячных смесителей. Величина фрикции при смешении рекомендуется от 1 до 1,11.

Смесительно-листовальные вальцы применяются для смешения и пластикации пластических масс и каучука, листования пластичных смесей, приготовленных в смесителях. Фрикция для данных вальцов имеет существен-

ное значение, уменьшение которой затрудняет смешение, а увеличение вызывает нежелательное повышение теплообразования и перегрев обрабатываемых материалов ($f = 1,08 \div 1,17$).

Регенератно-смесительные вальцы служат для обработки крупных кусков малопластичного материала, сушки его и гомогенизации до однородной массы в виде полотна. Отличаются от предыдущих вальцов наличием дополнительного приспособления (фартука), возвращающего провалившуюся регенератную крошку обратно на вальцы. Вальцы имеют фрикцию от 1,39 до 1,42.

Смесительно-подогревательные вальцы применяют для смешения с ингредиентами, повышения пластичности и разогрева смесей перед их дальнейшей обработкой ($f = 1 \div 1,29$).

Подогревательные вальцы используются для подогрева пластичных смесей перед их загрузкой на каландры, червячные и другие машины. Эти вальцы имеют различную скорость вращения валков (фрикция $1,17 \div 1,5$).

Дробильные вальцы предназначены для перетирания и дробления жестких частиц в пластических массах. Поверхность обоих валков вальцов, имеющих повышенную фрикцию ($1 \div 2,55 \div 3,25$), рифленая.

Размалывающие вальцы применяются для более тонкого дробления (размалывания) материалов. Поверхность валков размалывающих вальцов может быть как гладкой, так и рифленой; фрикция составляет $1 \div 2,55 \div 4,0 \div 5,35$.

Рафинирующие вальцы служат для освобождения смесей от твердых частиц. Валки рафинирующих вальцов имеют гладкую поверхность и фрикцию $2,48 \div 2,55$. Рабочая часть валков имеет бочкообразную форму.

Промывные вальцы служат для промывки каучука, загрязненного механическими примесями, водой. Валки этих вальцов имеют рифленую поверхность и величину $f = 1,17 \div 1,52$.

Питающие вальцы применяют для питания оборудования (f – лю-

бая).

Лабораторные вальцы предназначены для лабораторных исследований ($f=1,06\div 1,51$).

Кроме того, вальцы разделяют на пластицирующие (для интенсивного перемешивания, гомогенизации и пластикации), краскотерочные (о которых говорилось выше) и для переработки пресс-порошков.

Вышеуказанные типы вальцов имеют в основе одинаковый принцип действия и ряд сходных узлов и деталей. В общем вальцы (рис. 11) представляют собой машины, основными рабочими органами которых являются два полые валка 1 и 2, расположенные в горизонтальной плоскости и вращающиеся навстречу друг другу. Каждая из двух станин 8 и 12 вальцов стянута сверху траверсой 5 и 17 и помещается на массивной чугунной фундаментной плите 11. Фундаментная плита с нижней стороны имеет ребра жесткости. Вальцы выпускаются с тремя основными видами привода: индивидуальным, сдвоенным и групповым. Выбор привода вальцов зависит от экономических факторов. У вальцов с групповым приводом на фундаментной плите под каждой из станин устанавливаются трансмиссионные подшипники 9, 14. Для регулировки параллельности установки двух станин и увеличения жесткости конструкции вальцов имеется два стяжных болта 10. В каждой станине вальцов устанавливается по два валковых подшипника (один от переднего, а другой от заднего валков). Подшипники заднего валка 2 неподвижно прикрепляются к соответствующей станине при помощи болтов. Подшипники переднего валка установлены так, что их можно передвигать по станине для регулировки величины зазора между валками. Регулировка величины зазора между валками производится при помощи специальных механизмов 7, снабженных предохранительными устройствами. На каждой из станин имеются указатели величины зазора для устранения перекоса валков.

Технические характеристики применяемых вальцов представлены в табл. 2 и 3.

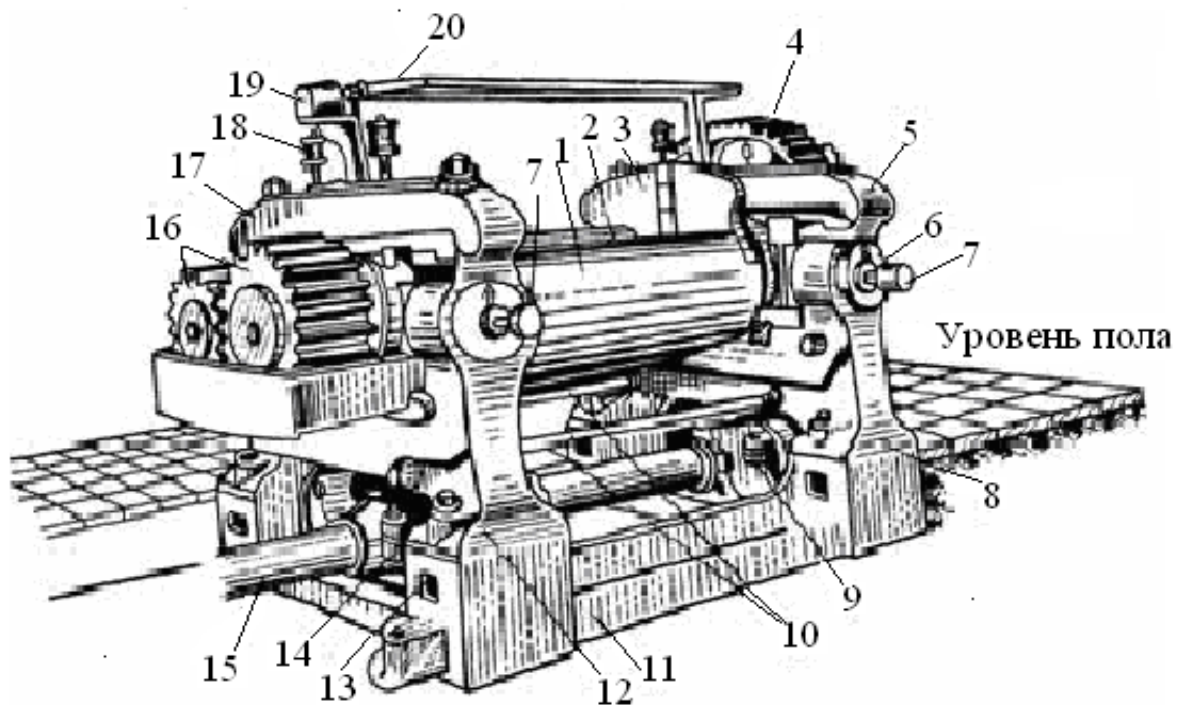
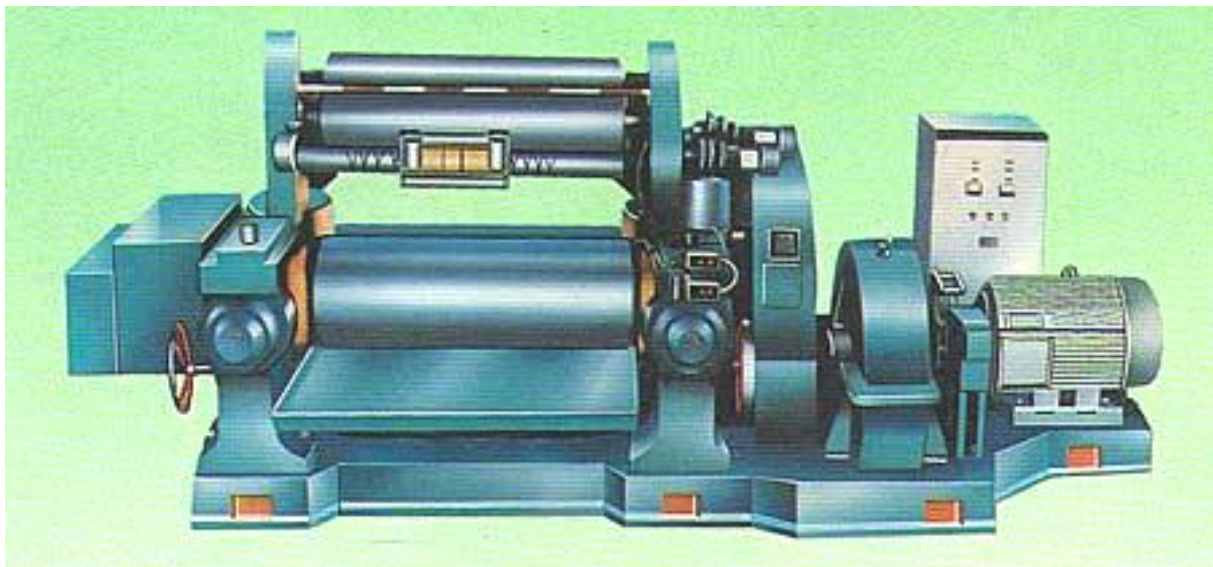


Рис. 11. Общий вид вальцов:

1- передний валок; 2- задний валок; 3 - ограничительные стрелки; 4 - приводная шестерня; 5, 17 - верхние траверсы; 6 - указатель величины зазора между валками; 7 - механизм регулировки зазора; 8, 12 - станины вальцов; 9, 14 - подшипники трансмиссионного вала; 10 - соединительные болты; 11 - фундаментная плита; 13 - окна для заворачивания фундаментных болтов; 15 - трансмиссионный вал; 16 - передаточные (фрикционные) шестерни; 18 - колпачковая масленка; 19 - конечный (аварийный) выключатель; 20 - штанга аварийного выключателя

Технические характеристики лабораторных вальцов (Лб)

Типоразмер вальцов		Размеры ра- бочей части вальцов, мм		Рабочий зазор между валками, мм	Рабочие ско- рости вал- ков, м/мин		Фрикция	Мощность электродвига- теля привода вальцов, кВт	Габаритные размеры, мм	Производительность: кг/ч, л/цикл*	Масса, кг
		диаметр	длина		переднего	заднего					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
ЗАО Полимермаш, г. Санкт-Петербург	Лб-100	50	100	M*-3	3,74 3,3 2,9	3,9	1:1,06 1:1,2 1:1,35	1,1	776× ×670× ×1565	0,3*	440
	Лб-200	100	200	M*-10	2÷8	2÷8	1:1-1:4	5,8	2180× ×806× ×1515	1*	2145
	Лб-320 (только на заказ с 1993г.)	160	320	M*-12	5,37÷14,9	8,38 10,6 16	1:1,07 1:1,17 1:1,27 1:1,51	11,3	2130× ×950× ×1560	2*	2380
	Лб-350	150	350	0,2÷8	5÷27	7÷34	1:1,25 1:1,4	7,5	1550× ×950× ×1450	-	1200
	Лб-450	225	450	0,2÷8	6 8 12	6,3÷24,19	1:1,04	17,9 19,9 25	3200× ×1250× ×1740	4*	4280
	Лб-200	100	200	0,1÷4	4,7÷18,8	4,7÷18,8	1:1-1:4	2,2	1200× ×800× ×1400	-	450

Окончание табл.2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ЗАО Ярполимермаш-Татнефть	Лб-250	120	250	0,1÷4	5,6÷17		1:1,25	2,2	1000× ×600× ×400	,	350
	Лб-350	150	350	0,2÷8	2,3÷11	3,2÷15,9	1:1,25 1:1,4	7,5	1550× ×950× ×1450	,	2130

М* - максимальный зазор между валками, мм

Таблица 3

Технические характеристики производственных вальцов

Типоразмер вальцов	Размеры ра- бочей части валков, мм		Рабочий зазор между валками, мм	Рабочие ско- рости ва- лков, м/мин (мин ⁻¹)		Фрикция	Мощность электродвига- теля привода вальцов, кВт	Габаритные размеры, мм	Производительность: кг/ч, л/цикл*	Масса, кг	
	диаметр	длина		переднего	заднего						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Смесительные (См)											
ОАО «Большевик», г. Киев	См-800	550	800	0,5÷1 0	33	36,3	1:1,11	75	5300× ×3300× ×1800	30*	19800
	См-1500	660	1500	0,5÷10	32,6	34,9	1:1,07	160	4745× ×3605× ×2050	88*	24800
	См-2100	660	2100	0,5÷10	33,8	36,1	1:1,0 7	200	6610× ×3270× ×2030	140-200*	25350

Продолжение табл.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	СМ-2100	660	2100	0,5÷10	32,6	34,9	1:1,07	200	5345× ×3605× ×2030	140-200*	27730
ЗАО Полимермаш, г.Санкт-Петербург	СМ-350	150	350	0,2÷8	(24)	(34)	1:1,4	7,5	1300× ×900× ×1480	-	1100
ЗАО Ярполимермаш-Татнефть	СМ-350	150	350	0,2÷8	11,4(24)	15,9(34)	1:1,4	7,5	1300× ×900× ×1450	-	1100
	СМ-800	550	800	0,5÷10	33,3	36,6	1:1,08 1:1,115	78	4050× ×2220× ×1816	30*	14600
	СМ-1500	660	1500	0,5÷10	32,4	34,6	1:1,07	138	4630× ×3670× ×2030	88*	22100
	СМ-2100	660	2100	0,5÷10	32,4	34,6	1:1,07	167	5350× ×3665× ×2026	140/200*	25200
Тамбовполимер- маш	СМ-800	550	800	0,5÷10	33	36,3	1:1,11	78,4	4475× ×2805× ×1910	90	13700
«Бузулук» (Чехия)	СМ-2100	660 650	2100		27	31,6	1:1,17	110	8700× ×3000× ×1770	100*	42960

Продолжение табл.3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
«Troester» (Германия)	СМ-700	300	700	0,5÷10	16,2	17,0	1:1,05	22,5	3400× ×1600× ×1910	.	64000
	СМ-1000	400	1000	0,5÷10	21,5	22,6	1:1,05	45	4000× ×2800× ×2000	.	11200
	СМ-1200	450	1200	0,5÷10	24,2	25,4	1:1,05	67,5	4300× ×2800× ×2000	.	12400
Регенератно-смесительные (Рс)											
	Рс-1500	550	1500	0,5÷10	26,9	37,2	1:1,39	75	4600× ×2850× ×2085	.	22700
Смесительно-подогревательные (ВП)											
ЗАО Ярполимермаш-Татнефть	ВП-800	550	800	0,5÷10	31,3	36,6	1:1,17	78	4050× ×2220× ×1816	30*	14600
	ВП-1500	660	1500	0,5÷10	30,4	34,6	1:1,14	138	4630× ×3670× ×2030	88*	22100
	ВП-1500	550	1500	0,5÷10	29	36,8	1:1,27	78,5	4840× ×3120× ×1915	66*	19350
	ВП-2100	660	2100	0,5÷10	30,4	34,6	1:1,14	167	5350× ×3665× ×2026	140/200*	25200

Продолжение табл.3

1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ОАО «Большевик», г. Киев	ВП-1500	660	1500	0,5÷10	30,4	34,6	1:1,14	160	4745× ×3605× ×2050	88*	24800
	ЗАО Полимермаш, г. Санкт-Петербург	150	350	0,2÷8	27 (24)	34	1:1,25 1:1,4	7,5	1400× ×900× ×1480	-	1200
Подогревательные (Пд)											
ЗАО Ярполимермаш-Татнефть	Пд-320	160	320	0,2÷8	13,6	17,0	1:1,25	7,5	1300× ×900× ×1450	3*	1100
	Пд-320Э	160	320	0,2÷8	13,6	17,0	1:1,25	5,5	1400× ×900× ×1500	-	1150
	Пд-630	315	630	0,5÷10	16	20	1:1,25	7,5	2400× ×1450× ×1700	40-120*	4800
	Пд-1000	400	1000	0,5÷10	16	20	1:1,25	45	3350× ×2200× ×2000	-	10000
	Пд-800	550	800	0,5÷10	28,4	36,6	1:1,29	78	4050× ×2220× ×1816	30*	14600
	Пд-1500	660	1500	0,5÷10	27	34,6	1,28	138	4630× ×3670× ×2030	88*	22100

Продолжение табл.3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Пд-2100	660	2100	0,5÷10	27	34,6	1,28	167	5350× ×3665× ×2026	140/200*	25200
ОАО «Большевик», г. Киев	Пд-800	550	800	0,5÷10	28,8	37,2	1:1,29	75	5300× ×3300× ×1800	30*	19800
	Пд-1500	660	1500	0,5÷10	28,6	34,9	1,22	160	4745× ×3605× ×2050	88*	24800
	Пд-2100	660	2100	0,5÷10	29,6	36,1	1,22	200	6610× ×3270× ×2030	140/200*	25350
	Пд-2100	660	2100	0,5÷10	28,6	34,9	1,22	200	5345× ×3605× ×2030	140/200*	27730
Тамбовполи- мермаш	Пд-800	550	800	0,5÷10	28,7	37,0	1:1,29	75	3765× ×3185× ×1654	90*	13950
	Пд-1500	550	1500		23	31,1	1:1,35	101,2	5000× ×3200× ×2100	-	17800
	Пд-1800	660	1800		25,1	33,9	1:1,35	120	5900× ×3400× ×2200	-	2600
	Пд-2100	685	2100		27,2	37,6	1:1,35	150	6200× ×3400× ×2200	-	34000

Продолжение табл.3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	ПД-600	400	600		16,1	22,6	1:1,5	60	3600× ×2800× ×2000	-	10800
ЗАО Полимермаш, г. Санкт-Петербург	ПД-700	300	700	0,5÷10	15	18,4	1:1,27	22	3577× ×1633× ×1554	25	4200
Китай	X(S)K- 160	160	320	0,1÷5	8,5	10	1:1,17	7,5	1250× ×900× ×1200	2	1000
	X(S)K- 250	250	620	0,1÷5	12	14	1:1,17	18,5	2250× ×1300× ×1400	15	3300
	X(S)K- 305	305	760	0,1÷5	13,7	16	1:1,17	30	2500× ×1400× ×1400	20	4800
	X(S)K- 360	360	900	0,1÷10	16,2	19,8 18	1:1,22 1:1,11	37	4180× ×1467× ×1620	25	6100
	X(S)K- 400	400	1000	0,1÷8	18,8	22 20,4 23,9	1:1,17 1:1,083 1:1,27	45	4572× ×1780× ×1670	40	8750
	X(S)K- 450	450	1200	0,1÷10	21,1	24,7 22,9 26,8	1:1,17 1:1,083 1:1,27	55	5000× ×1950× ×1750	70	12000
	X(S)K- 550	550	1500	0,1÷15	25,8	30,2 27,9 32,8	1:1,17 1:1,083 1:1,27	110	6170× ×2250× ×1990	110	18500

Продолжение табл.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Китай	X(S)K-610	610	2000	0,1÷10	28,42	33,3 30,8 36,1	1:1,17 1:1,083 1:1,27	160	7070× ×2290× ×1840	150	28600
	X(S)K-660	660	2130	0,1÷15	30	32,7 34,5 36,6	1:1,09 1:1,15 1:1,22	240	6890× ×3530× ×1920	210	41000
	X(S)K-710	700	2200	0,1÷15	30	32,7 34,5 36,6	1:1,09 1:1,15 1:1,22	280	7500× ×3500× ×1800	300	50000
Дробильные (Др)											
ОАО «Большевик», г. Киев	Др-800	550	800	0,5÷10	13	40	1:3,08	160	6000× ×3650× ×1670	1110	19800
	Др-800	710	800	0,4÷10	16,5	53,5	1:3,25	400	8560× ×4400× ×3025	3500	60000
ЗАО Ярполимер- маш-Татнефть	Др-800	550	800	0,5÷10	13	40	1:3,08	160	5185× ×3480× ×1920	1110	25880
Тамбовполимермаш	Др-800	$\frac{490}{610}$	800	0,5÷10	14,77	37,8	1:2,55	113	4866× ×2790× ×1810	600	14100
	Др-800	710	800	0,5÷10	16,5	53,5	1:3,25	400	6850× ×4570× ×3115	3500	54780
Китай	Др-2000	610	2000	0,5÷15	28,42	47,18	1:1,66	160	7070× ×2290× ×1840		32000

Продолжение табл.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Размалывающие (Рз)											
ОАО «Большевик», г. Киев	Рз-800	550	800	0,5÷10	10	40	1:4	132	6000× ×3650× ×1670	480	19800
ЗАО Ярполимер-маш-Татнефть	Рз-800	550	800	0,5÷10	13	69,6	1:5,35	136,9	4500× ×2100× ×1700	300	15100
Тамбовполи-мермаш	Рз-800	550	800	0,5÷10	10	40	1:4	135,4	5905× ×2500× ×2220	90	20545
	Рз-800	550	800		20,7	31,1	1:1,5	105	4300× ×3200× ×2100	-	16000
	Рз-950	665	950		25	37,6	1:1,5	150	5000× ×3400× ×2200	-	29000
	Рз-610/815	535	610 815		17,2	45,5	1:2,47	52,5	4200× ×3000× ×2100	-	15000
Китай	ХКР-560	510 560	800	0,5÷15	27,01	38,08	1:1,41	75 (110)	4750× ×2280× ×2000 (5400× ×2450× ×1900)	2000	19000

Продолжение табл.3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Китай	Pз-800	550	800	0,5÷12	10	40	1:4	90			20000
	Pз-800	$\frac{490}{610}$	800	0,5÷12	10	40	1:4	125			20000
Рафинирующие (Рф)											
ОАО Большевик», г. Киев	Рф-800	$\frac{490}{610}$	800	0,5÷10	27,5	70	1:2,55	75	6000× ×3650× ×1670	1110	19500
Тамбовполимермаш	Рф-800	$\frac{490}{610}$	800	0,5÷10	27,5	70	1:2,55	78,4	4430× ×2705× ×1810	120	12900
	Рф-610/910	535	610 910	0,5÷10	24,2	59,6	1:2,47	75	3200× ×2100× ×2100	-	16000
	Рф-700	350	700	0,5÷10	15,6	22,5	1:1,38	13,1	2200× ×1500× ×1400	-	5200
Промывные (Пр)											
Тамбовполимермаш	Пр-800	550	800	0,5÷10			1:1,39	78,4	4475× ×2805× ×1810	1800	13750
Комплексные смесительные (с каландрами)											
«Сомегіо Егsole» (Италия)		400	1000		16	22,2	1:1,38	29,4	2587× ×1775× ×1620	-	6000
		560	1500		29,1	36,1	1:1,27	66	3400× ×2400× ×2200	-	21000

Окончание табл.3

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
“Comerio Ercole” (Италия)		600	1800		28,1	35,8	1:1,28	80-90	4000× ×2500× ×2600	,	28000
		700	2200		24,8	31,0	1:1,25	150- 120	4850× ×2900× ×2900	,	34000

При вальцевании протекает ряд физических (нагревание, деформирование, ориентация) и химических (различные виды деструкции, окисление, прививка, структурирование полимеров, реакции макрорадикалов) процессов. Преобладание того или иного процесса определяется химическим строением полимера, его молекулярной массой, составом газовой среды и в значительной степени – температурой вальцевания; глубина протекания этих процессов зависит от продолжительности вальцевания. При низких температурах протекают преимущественно процессы деструкции, с повышением температуры преобладающее значение приобретают процессы структурирования. Продолжительность вальцевания, в свою очередь, зависит от жесткости макромолекул полимера, содержания в композиции пластификатора, наполнителя и красителя, требований к качеству материала. В связи с этим в различных технологических схемах вальцевание может осуществляться последовательно на одних, двух и более вальцах. В частности, в непрерывных процессах (экструзия, каландрование и др.) при питании с вальцов обычно используют двухстадийное вальцевание (относительно продолжительная обработка на первых вальцах и кратковременная на вторых). При этом на первые вальцы периодически загружают исходную композицию, а на вторых вальцах все время находится порция уже почти окончательно готового материала. Режимы вальцевания некоторых пластмасс приведены в табл. 4.

Таблица 4

Режимы вальцевания некоторых пластмасс

Материал	Назначение операции	Температура, °С	Продолжительность, мин	Фрикция
На одних вальцах				
Пресс-материал на фенолформальдегидной смоле	Пропитка наполнителя, смешение ингредиентов	~100	2–5	1,2-1,3
Этрол ацетилцеллюлозный	Гомогенизация, смешение с пластификатором	100–110* 90–10**	–	-
Сополимер стирола с акрилонитрилом	Охлаждение, листование, питание гранулятора	150–170* 130–150**	Непрерывно	1,0
Смесь полиэтилена и полиизобутилена	Охлаждение, листование, питание гранулятора	110–120* 100–110**	Непрерывно	1,2
На двух вальцах				
Сополимер винилхлорид-винилацетат (85:15)	Смешение, пластикация, питание каландра	~60–70 ~50–60	10 10	1,27
Винипласт	Гомогенизация, пластикация	160–165* 145–150**	15+5	1,30-1,35
Пластикат	Гомогенизация, смешение с пластификатором, пластикация	150–155 140–145	15–24 5–8	1,15-1,20 1,25
На трех вальцах				
Смесь на основе полиизобутилена	Смешение, пластикация, листование	70–75 50–60*** 20–25***	5 30	1,2-1,3 1,1 1,0

* Температура переднего вала.

** Температура заднего вала.

*** Листование, осуществляемое на последних вальцах путем однократного пропускания материалов.

1.3. Кalandры

Машины, применяемые в производстве готовых изделий или полуфабрикатов для придания исходному материалу заданной формы (виды обработки п.п 5-8), называют каландрами, а соответствующую группу процессов — каландрованием (образование бесконечной ленты заданной толщины и ширины из размягченного полимерного материала, однократно пропускаемого через зазор между двумя или несколькими валками). В основном каландрованием перерабатывают ПВХ жесткий и пластифицированный, сополимеры винилхлорида и винилацетата, а также эфиры целлюлозы, резину и другие полимеры. Этот процесс широко используется для получения однослойных, многослойных, дублированных на различные подложки рулонных материалов.

При переработке термопластов в большинстве случаев каландрование — завершающая технологическая операция, вследствие этого вопросы качества при каландровании имеют немаловажное значение.

Процесс каландрования в каждом зазоре аналогичен вальцеванию при стационарном процессе с той лишь разницей, что лента материала после выхода переходит на следующий валок. Особенностью каландрования является постепенное уменьшение зазоров по ходу перемещения материала, приводящее к различным величинам запаса материала в начальном, промежуточном и калибрующем зазорах и некоторому уширению материала. При каландровании величина запаса значительно меньше, чем при вальцевании.

В процессе переработки материала в рабочем зазоре между валками макромолекулы полимера получают преимущественную ориентацию вдоль направления движения ленты. Особенно это выражено при каландровании, такое явление называется “каландровым эффектом”. Вследствие ориентации разрушающее напряжение при растяжении листа или пленки вдоль направления каландрования на 30-70 % больше напряжения в поперечном направлении. Относительное удлинение образцов, вырезанных вдоль направления

каландрования меньше удлинения образцов, вырезанных поперек.

Неоднородность физико-механических свойств приводит к неравномерной вытяжке и ускоренному износу изделий. Снижения “каландрового эффекта” удается достичь несколькими способами:

- повышением температуры переработки полимера, что не всегда возможно вследствие низкой термостабильности некоторых полимеров;
- выдержкой пленки в течение нескольких часов в свободном состоянии при повышенных температурах;
- организацией приемки (закатки) пленки без натяжения с невысокими скоростями;
- использованием специальных усадочных конвейеров, увеличивающих продолжительность прохождения пленки от каландра к намоточному устройству и облегчающих усадку (релаксацию) материала.

Вязкоупругие свойства материала, переработанного на валковых машинах, сказываются на изменении толщины (калибра). В определенный период времени после каландрования толщина листового материала увеличивается и становится больше величины минимального зазора. Это явление называют эластическим восстановлением.

Увеличение толщины каландрованного листа сопровождается уменьшением его ширины, т.е. усадкой. Объем при этом сохраняется. Усадка зависит от состава полимерной композиции, температуры переработки, зазора между валками и скорости каландрования. С уменьшением содержания наполнителя усадка увеличивается. С целью снижения усадки в поточных технологических линиях устанавливают либо специальные тепловые камеры, либо многосекционные ванны.

При каландровании следует учитывать распределение усилий в рабочих зазорах (в зависимости от схемы расположения валков).

По аналогии с вальцами с точки зрения конструктивных признаков каландры делятся:

1) по диаметру (D) и длине (L) валков:

на лабораторные (D до 225 мм) и производственные:

- на каландры легкого типа ($D=360$, $L=1100$; $D=500$ мм, $L=1250$ мм);
- среднего типа ($D=610$ мм, $L=1800$ мм; $D=710$ мм, $L=1800$ мм);
- тяжелого типа ($D=950$ мм; $L=2800$ мм);

2) наличию фрикции (f) между валками:

- с фрикцией;
- без фрикции;

3) расположению валков (рис. 12)*:

- вертикальное;
- Г-, L-, Z-, S-, W-образные*;
- **треугольное***;
- угловое;

4) числу валков*:

- двухвалковые;
- **трехвалковые***;
- **четыревалковые***;
- многовалковые;

5) способу регулирования зазора между валками:

- механический;
- автоматический;

б) природе теплоносителя:

- с водяным охлаждением;
- паровым обогревом;
- электрическим обогревом.

* Жирным шрифтом выделены наиболее часто встречаемые каландры.

Основные классификационные конструктивные признаки каландров – это число валков, их размеры и схемы расположения, (рис. 12).




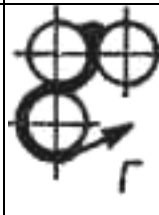


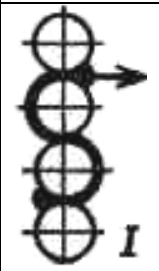
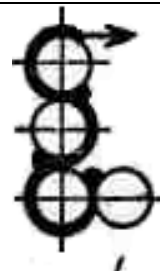




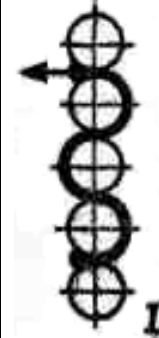



Двух- валковый						
Трёх- валковый						
Четырёх- валковый						
Пятивалковый						

Рис. 12. Схемы расположения валков каландра

По технологическим признакам каландры классифицируются следующим образом: листовальные, промазочные, универсальные, профильные, дублировочные, тиснильные, гладильные.

Как правило, дублировочные и тиснильные каландры имеют по два, гладильные и промазочные – по три, листовальные, профильные и универсальные – по три-четыре рабочих валка.

Листовальные каландры предназначены для изготовления листов или пленки из провальцованной полимерной смеси (скорость вращения всех валков этих каландров одинакова).

Промазочные каландры – для промазки или втирания ткани полимерной смесью (их валки имеют различные линейные скорости вращения).

Универсальные (листовально-промазочные) – каландры, которые могут работать как листовальные и как промазочные (без фрикции и с фрикцией) (рис.13).

Профильные каландры служат для выпуска листовых заготовок сложного профиля.

Дублировочные каландры предназначены для дублирования ткани и бумаги с пленкой из полимерных материалов.

Тиснильные – для нанесения рисунка на поверхность пластичного материала давлением валка, имеющего рифленую поверхность, соответствующую профилю рисунка.

Гладильные – для отделки поверхности рулонного материала воздействием гладкого металлического валка.

Листовальные, промазочные и профильные каландры называются формующими, потому что на них из бесформенных полимерных масс или резиновых смесей получают сформованные материалы в виде пленки, листов различного профиля. Этот тип каландров, как правило, снабжается механизмами, обеспечивающими постоянный зазор между валками.

К отделочным каландрам, на которых облагораживают различные рулонные материалы путем тиснения, глажения, склеивания с другими рулонными материалами, относят тиснильные, гладильные, дублировочные.

В качестве примера рассмотрим устройство универсального четырехвалкового Г-образного каландра, представленного на рис. 13. На фундаментную плиту **1** опираются две станины **2**, соединенные поперечной траверсой **5**. В станине установлены подшипники **3** валков **4**. Для вращения каждого из валков применяют индивидуальный привод, состоящий из электродвигателя **7** и редуктора **6**. Конструкция привода обеспечивает независимое плавное регулируемое изменение скорости вращения валков. Фрикция при

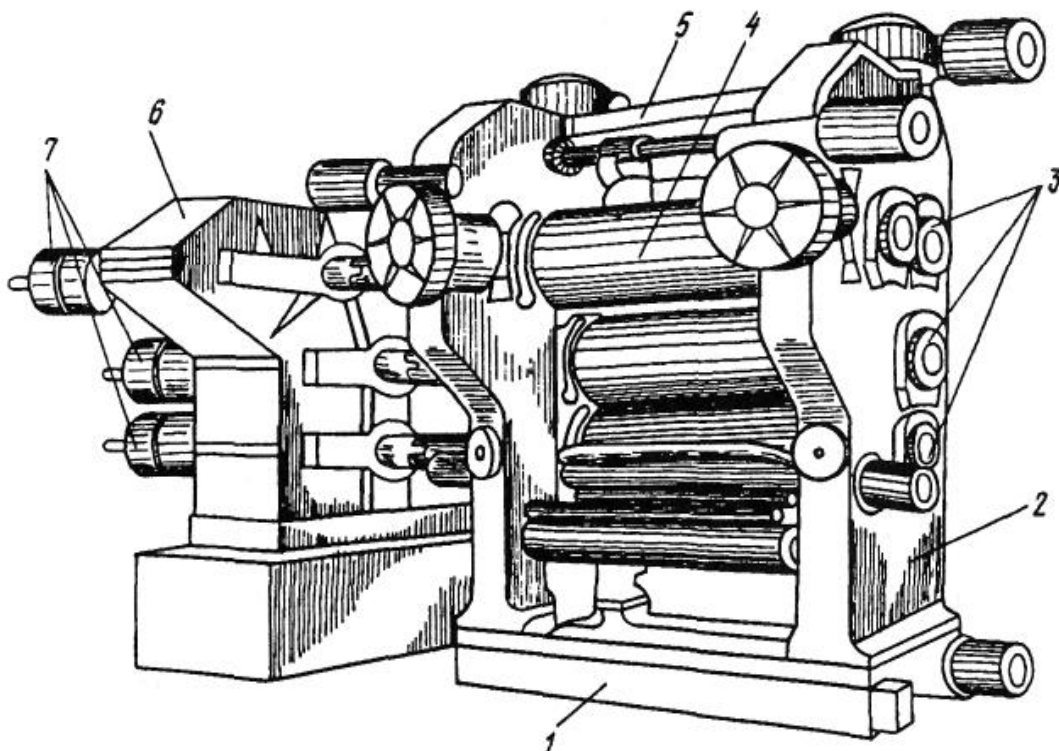
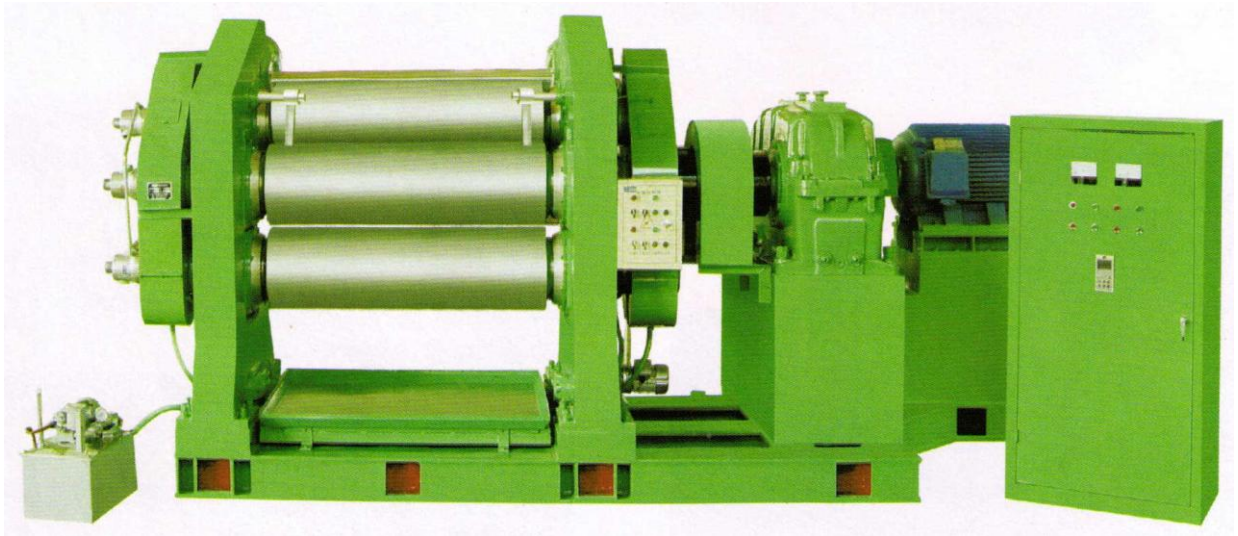


Рис.13. Г-образный четырёхвалковый каландр: 1 - фундаментная плита; 2 - станины; 3 - подшипники; 4 - валки; 5 - поперечная траверса; 6 - редуктор; 7 - электродвигатель

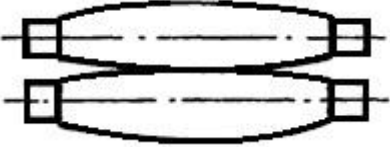
таким варианте конструкции привода может регулироваться в широких пределах - от 1:1 до 1:10. Величина фрикции определяется конкретной технологической операцией, выполняемой в данном межвалковом зазоре.

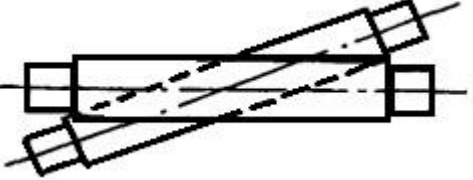
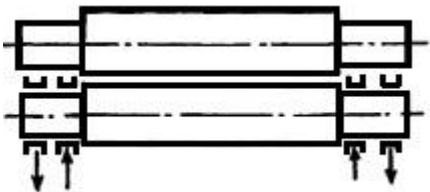
Среднее давление, которое испытывает материал в зазоре между валками каландра, в зависимости от типа и толщины материала варьируется в пределах 7- 70 МПа. При этом полимерная масса испытывает деформацию сдвига. В результате действия гидродинамических сил при течении полимера в зазоре между валками возникают распорные усилия, пропорциональные эффективной вязкости каландруемой композиции, что приводит к появлению неравномерности полимерной пленки по толщине (валки каландра прогибаются). Распорные усилия в расчете на единицу длины валка изменяются от 350 до 1100 кН/м. Поэтому при каландровании необходимо компенсировать этот прогиб.

Существуют три основных способа компенсации прогиба валков (табл. 5): **бомбировка валков (1), перекрещивание валков (2), контрпрогиб валков (3).**

Таблица 5

Методы компенсации прогиба валков и их суть

Метод компенсации прогиба	Суть метода
1	2
<p data-bbox="316 1339 566 1377">1 - бомбировка</p> 	<p data-bbox="710 1339 1428 1825">Придание валкам бочкообразной формы. Увеличение диаметра средней части валка по сравнению с диаметром по краю обеспечивает частичную компенсацию, поскольку прогиб зависит от величины распорного усилия. Распорное усилие определяется перерабатываемым материалом, режимом переработки, размером зазора.</p> <p data-bbox="710 1848 1428 2016">Одна бомбировка никогда не может обеспечить полной компенсации прогиба валка при всех рабочих режимах.</p>

1	2
<p data-bbox="220 241 662 280">2 – перекрещивание валков</p> 	<p data-bbox="710 241 1428 526">Клинья механизма перекрещивания разводят концы крайних валков в горизонтальной плоскости. Прогиб компенсируется тем, что зазоры по краям валков становятся больше, чем в середине.</p> <p data-bbox="710 555 1428 1153">Преимущество метода перекрещивания в том, что с помощью его можно изменять величину перекрещивания и подбирать таким образом нужную величину компенсации в зависимости от свойств материала и толщины пленки. Расположение валков каландра оказывает существенное влияние на величину распорного усилия и, следовательно, на величину фактического прогиба валков.</p> <p data-bbox="790 1176 1364 1214">Данный метод широко применяется</p>
<p data-bbox="263 1238 614 1276">3 - контризгиб валков</p> 	<p data-bbox="710 1238 1428 1585">Прогиб валков уменьшают за счет усилия от гидроцилиндров, прикладываемого к шейкам валка в направлении, противоположном направлению распорного усилия. Очевидный недостаток способа проявляется в более тяжелых условиях работы подшипников.</p> <p data-bbox="710 1615 1428 1832">Степень компенсации, достигаемая при контризгибе валков, мало отличается от компенсации, достигаемой за счет перекрещивания валков.</p> <p data-bbox="710 1861 1428 1960">Данный метод не нашел широкого применения в производственных условиях</p>

Технические характеристики применяемых каландров представлены в табл. 6.

Таблица 6

Технические характеристики производственных каландров

Типоразмер каландров	Размеры раб- бочей части валков, мм		Рабочий зазор между валками, мм	Рабочие ско- рости валков, м/мин (мин ⁻¹)		Фрикция (сверху вниз)	Мощность электродвигате- ля привода каландров, кВт	Габаритные размеры, мм	Масса, кг	
	диаметр	длина		верхнего	нижнего					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Резинообрабатывающие, для раскатки пластмасс и ИК										
ЗАО Полимермаш, г. Санкт-Петербург	2-350-700	350	700	10	6÷30		1:1,04	30	2700× ×2300× ×2100	6000
	2-400-250	400	250	19	6÷30		1:1	3,4	1120× ×1050× ×1815	2575
	2-400-600	400	600	8	3÷15		1:1	14	5240× ×2480× ×1375	5500
	3-160-320	160	320	5	6÷18		1:1-3	2,4 3,0 2,4	1960× ×1080× ×1640	2600
	3-250-650	250	650	10	3÷40		1,1:1	20	2700× ×1500× ×1800	7000

Продолжение табл.6

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ЗАО Полимермаш, г. Санкт-Петербург	3-350-800	350	800	12	6÷30		1:1,2	37	3800× ×2000× ×2200	11500
	3-350-1250	350	1250	10	6÷25		1:1,2	55	4300× ×2000× ×2200	16000
	4-160-320	160	320	3	1÷12		1:1	4,5	2300× ×1100× ×1800	4000
	4-200-600	200	600	12	3÷18		1:1,06	17	2600× ×1500× ×1720	5000
	4-250-550	250	550	10	5÷20		1:1,5	20	2300× ×2750× ×1750	7000
	4-350-800	350	800	10	5÷25		1:1,04	55	4000× ×3000× ×2900	13000
	5-200-630	200	630	10	3÷20		1:1,06	17	2300× ×1800× ×2000	5500
ОАО «Большевик», г. Киев	3-310-500А для изоля- ции кро- мок бреке- ра	310	500		6÷60			33	3410× ×2050× ×1700	9000
	3-500-1250А прослоеч- ный	500	1250	15	4,3÷43		1:1,2 1:1,1	75	6000× ×2715× ×3300	34650

Продолжение табл.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ОАО «Большевик», г. Киев	3-500-1250А протекторный	500	1250		2,43÷13,5		55	5390× ×3100× ×2400	32000
	3-610-1730 для РТИ	610	1730		8÷45,6		118	9450× ×4200× ×3500	52000
	3-710-1800А универсальный, для РТИ	710	1800	20	6÷60		1:1,5 1:1,041	11350× ×5850× ×4560	100000
	4-500-1250Г универсальный	500	1250	25	4,7÷47		1:1 1:1,38	7180× ×3230× ×2895	41360
	4-500-1250Г для гермосля	500	1250		4÷40		4×37	8500× ×4300× ×3200	46000
	4-500-1250S для металлокорда	500	1250		5÷40		180	9150× ×5100× ×3450	50000
	4-610-1730Г для РТИ	610	1730		5,6÷56		250	9000× ×5300× ×3500	67000

Продолжение табл.6

1		2	3	4	5	6	7	8	9	10
	4-710-1800S кордный	710	1800		8,7÷87			4×118	8500× ×5000× ×3500	70000
	4-950-2800S для транспорт- ных лент	950	2800		4÷40		1:1	4×125	10500× ×9200× ×6900	306950
«Vuzuluck» (Чехия)		200÷700	400÷2100	0,05÷2,0	5÷90		1:1 1:1,5	15÷300		
Фирма «Репик»	4-700-1800Z для резины	700	1800		60					
	3-700-1800A для резины	700	1800		60			160		
«Hermann Verstorffe» (Германия)		4-300-700	300	700	0,05	120	1:1 1:1,5			
		4-700-1800Г для пласт- масс	700	1800	0,05	60		280		
		4-700-1800S для резины	700	1800	0,05	80		150		
«Olier» (Франция)		I, L- образный	300 ÷ 810	700÷ 2300	0,05÷2,5	до 100	1:1 1:1,5	40÷380		

Продолжение табл.6

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
“Comerio Ergo” (Италия)	4(5)-450-1200	450	1200	0,05÷0,5			1:1 1:1,5	290		250000
“Mechaniche Modelle” (Италия)	I-образный	300 ÷ 810	850		5÷50		1:1 1:2	200÷250		97000
	F-образный	300 ÷ 810	2100		5÷50		1:1 1:2	200÷250		115000
“Nippon Roll” (Япония)	Г, Z, S-образный	200 ÷ 100 0	500 ÷ 2500		3÷100		1:1 1:1,5	14÷560		
“Omny Products” (США)	4-600-1650Z	600	1650		100		1:1 1:1,75	180		
	4-610-1680Z	610	1680		73		1:1 1:1,75	180		
“David Bridge” (Англия)	4, S-образный для резины	711,2	1981,2	0,1÷1,0	80			270		122400
	3, для резины	609,6	1727,2	0,1÷1,0	80			190		53600
Китай	XU-2WI800	360	800	0,2÷5	3÷30		1:1	37	3450× ×2090× ×1130	8000

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Китай	XY-2WI800	400	800	0,2÷5	0,85÷7,5		1:1	22	4310× ×1800× ×1380	8500
	XY-2r920	400	920	0,2÷5	3÷30		1:1	37	4800× ×1800× ×1700	9000
	XY-211300	400	1300	0,2÷5	3÷30		1:1	55	5500× ×1730× ×2500	18700
	XY-3Г630 XY-3I630	250	630	0,2÷6	1,37÷13,7		1:1:1	15	3250× ×1170× ×1800	4400
	XY-3Г760 XY-3I760	305	760	0,2÷5	1,8 ÷18		1:1:1	22	4350× ×1650× ×2230	7500
	XY-3Г 1120 XY-3I 1120	360	1120	0,2÷5	1,8 ÷18		1:1:1	37	4400× ×1600× ×2030	8500
	XY-3Г 1200 XY-3I 1200	400 (450)	1200 (1200)	0,2÷5	2.5÷25		1:1:1	45/55/75	5000× ×1600× ×2130	13000
	XY-3Г 1500 XY-3I 1500	550	1500	0,2÷5	4÷40		1:1:1	75/90	6900× ×3400× ×3600	35000
	XY-3Г 1730 XY-3I 1730	610	1730	0,2÷5	5÷50		1:1:1 1:1,4:1	160	7000× ×3800× ×3740	39000

1		2	3	4	5	6	7	8	9	10
Китай	XY-4S 760	305	760				1:1:1:1		4350×	
	XY-4Г 760			0,2÷5	1,8 ÷18		1:1,2:1,2:1	30/37	×1650× ×2230	8000
	XY-4S 1120	360	1120				1:1:1:1		4400×	
	XY-4Г 1120			0,2÷5	1,8 ÷18		1:1,2:1,2:1	45/55	×1800× ×2300	10500
	XY-4S 1200	400	1200				1:1:1:1		5000×	
	XY-4Г 1200	(450)	(1200)	0,2÷5	2,5÷25		1:1,2:1,2:1	75/90/110	×1800× ×2600	14000
	XY-4S 1500	550	1500				1:1:1:1		6900×	
	XY-4Г 1500			0,2÷5	4÷40		1:1,4:1,4:1	90/110/132	×2600× ×3800	38000
	XY-4S 1730	610	1730				1:1,4:1,4:1,4		7200×	
	XY-4Г 1730			0,2÷5	5÷50		1:1,4:1,4:1	160/200	×2800× ×4050	44000

Контрольные вопросы к разделу «ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ»

Контрольные вопросы к разделу «Краскотерки»

1. Какие валковые машины называют краскотерками?
2. В чем заключается работа краскотерок?
3. Приведите классификацию краскотерочных машин по количеству валков.
4. Чем краскотерки отличаются друг от друга?
5. Какие краскотерки являются наиболее простыми и почему?
6. С какой целью применяются одновалковые краскотерки.
7. Что собой представляет перетирочный брус и каково его назначение?
8. Каков принцип действия двухвалковой краскотерки?
9. Чем отличается устройство одновалковой краскотерочной машины от

двухвалковой?

10. Какие краскотерки используют для диспергирования вязких пигментных паст?

11. Перечислите преимущества многовалковых краскотерочных машин.

12. Перечислите основные требования, предъявляемые к продукции, прошедшей обработку на краскотерках.

13. От чего зависит число пропусков пасты через валки краскотерки?

14. Вследствие чего происходит диспергирование пасты?

Контрольные вопросы к разделу «Вальцы»

1. Какие валковые машины называют вальцами?

2. Что такое вальцевание?

3. Для чего применяют вальцы?

4. Каковы отличия вальцевания от каландрования?

5. Какие существуют схемы обработки полимерной массы на вальцах?

6. Что называется коэффициентом фрикции?

7. Каково условие захвата смеси валками?

8. Что является причиной неравномерного распределения ингредиентов в массе материала?

9. Каковы схемы обогрева и охлаждения валков?

10. Какие теплоносители используются для обогрева валков вальцов?

11. Каков механизм вальцевания полимеров при одинаковых скоростях вращения валков?

12. Дайте понятие области «запаса» перерабатываемого материала.

13. С какой целью валки на вальцах устанавливаются с разной температурой и скоростью вращения?

14. Каков механизм вальцевания полимеров при фрикции 1:2?

15. Перечислите технологические параметры, оказывающие влияние на процесс вальцевания.

16. Каков принцип работы вальцов периодического действия?

17. Каков принцип работы вальцов непрерывного действия?
18. Приведите классификацию вальцов по конструктивным признакам.
19. Как делятся вальцы по технологическому назначению?
20. Для чего служат смесительные вальцы?
21. Где применяются смесительно-листовальные вальцы?
22. Каково значение величины фрикции для смесительно-листовальных вальцов?
23. Чем отличаются регенератно-смесительные вальцы от других типов?
24. Для чего применяют смесительно-подогревательные вальцы?
25. Для чего применяют подогревательные вальцы?
26. Для чего предназначены дробильные вальцы?
27. Каково назначение размалывающих вальцов?
28. Каковы особенности рафинирующих вальцов?
29. Для чего служат промывные вальцы?
30. Чем отличаются питающие вальцы от других типов?
31. Какие вальцы используют для интенсивного перемешивания, гомогенизации и пластикации?
32. Каково устройство вальцов?
33. Какие процессы протекают при вальцевании?
34. От чего зависит продолжительность вальцевания?

Контрольные вопросы к разделу «Каландры»

1. Какие валковые машины называют каландрами?
2. Дать определение каландрованию.
3. Что в основном перерабатывают каландрованием?
4. Для чего используется процесс каландрования?
5. Приведите классификацию каландров с точки зрения конструктивных признаков.
6. Какие бывают схемы расположения валков каландров?
7. Назовите наиболее часто встречаемые каландры.

8. Приведите классификацию каландров по технологическим признакам.
9. Чем отличаются дублировочные и тиснильные каландры от гладильных и промазочных?
10. Каково назначение листовальных каландров?
11. Назовите особенности промазочных каландров.
12. Какие каландры могут работать как листовальные и как промазочные?
13. Для чего служат профильные каландры?
14. Каково назначение дублировочных каландров?
15. Для чего применяются тиснильные и гладильные каландры?
16. Почему листовальные, промазочные и профильные каландры называются формующими?
17. Какие типы каландров относятся к отделочным?
18. Какие операции выполняются на отделочных каландрах?
19. Каково устройство каландров?
20. В чем суть “каландрового эффекта”?
21. Назовите способы снижения “каландрового эффекта”.
22. В чем отличие процесса каландрования от вальцевания?
23. Перечислите основные методы компенсации прогиба валка?
24. В чем заключается сущность метода бомбировки валков?
25. Перечислите преимущества метода перекрещивания осей.
26. В чем заключается сущность метода контризгиба валков?

2. РАСЧЁТЫ

Основными энергосиловыми параметрами валковых машин считают:

- *производительность*,
- *распорные усилия*,
- *мощность*.

Производительность вальцов и каландров – это важный производственный параметр, выражаемый в кг/ч или кг/мин, расчет которого проводит технолог.

Распорным усилием называется величина сил сопротивления деформации перерабатываемого материала, стремящихся раздвинуть валки, которые необходимо учитывать.

Знание величины потребляемой мощности позволяет контролировать состояние подшипниковых узлов и следить за нормальной работой электропривода.

2.1. Расчет производительности

Производительность краскотерки вычисляют по формуле, кг/ч:

$$P = k_n \psi \omega h_0 b \rho, \quad (4)$$

где k_n – коэффициент (при передаточном числе $i = 1 : 2 : 4$ $k_n = 2509$, при $i = 1 : 3 : 9$ $k_n = 2717$);

ψ – коэффициент полноты съема смеси с вальца, равный $0,7 \div 0,9$;

ω – окружная скорость вальца, имеющего наибольшее число оборотов, м/с;

h_0 – величина зазора между вальцами, м;

b – длина рабочей части вальца, м;

ρ – плотность смеси, кг/м³.

Производительность вальцов в зависимости от их схемы работы рассчитывается двумя способами: 1) для вальцов с многократным пропуском материала через зазор; 2) для вальцов (и других валковых машин) с одно-

кратным пропуском материала через зазор.

Производительность вальцов периодического действия (Π_n) определяются по формуле, кг/ч:

$$\Pi_n = \frac{60V\rho\alpha}{\tau_{\text{ц}}}, \quad (5)$$

где V – объем единовременной загрузки (в м^3), рассчитываемый по эмпирическому соотношению $V \approx (0,65 \div 0,85) DL$; D – диаметр переднего валка, м; L – длина рабочей части валка, м;

ρ – плотность перерабатываемого материала, $\text{кг}/\text{м}^3$;

α – коэффициент использования машинного времени ($0,8 \div 0,9$);

$\tau_{\text{ц}}$ – продолжительность цикла переработки, рассчитывается по формуле:

$\tau_{\text{ц}} = \tau_z + \tau_n + \tau_{\text{выгр}}$; τ_z , τ_n , $\tau_{\text{выгр}}$ – продолжительность загрузки, переработки и выгрузки материала соответственно, мин.

Производительность вальцов непрерывного действия (Π_n) при однократном прохождении материала через зазор между валками определяется из выражения, кг/ч:

$$\Pi_n = 60\pi D n h \rho b \alpha, \quad (6)$$

где D – диаметр валка, с которого снимается масса, м;

n – частота вращения валка, мин^{-1} ;

h , ρ , b – толщина, плотность, ширина срезаемой ленты материала на выходе из зазора, м;

α – коэффициент использования машинного времени ($0,8 \div 0,9$).

При многократном прохождении через зазор между валками производительность вальцов определяется по формуле, кг/ч:

$$\Pi_n = \frac{60\pi D n h \rho b \alpha}{n_1}, \quad (7)$$

где n_1 – количество пропусков материала через зазор.

Производительность каландра при однократном пропуске полимерного материала через зазор между валками определяется по следующей формуле,

кг/ч:

$$\Pi_k = 60VF\rho\alpha = 60Vh_n b\rho\alpha = 60\pi Dn\beta h_n b\rho\alpha, \quad (8)$$

где V – скорость полотна при выходе из зазора валков ($V = V_1\beta$), м/мин;

V_1 - окружная скорость тихоходного валка, м/мин;

β - коэффициент опережения ($V_1 = \pi Dn$);

D – диаметр валка, м;

n – частота вращения тихоходного валка, об/мин; м/мин;

F – площадь поперечного сечения полотна в зазоре между валками, м²;

ρ - плотность каландрованного материала, кг/м³;

α - коэффициент использования машинного времени (0,8÷0,9);

h_n – толщина полотна, м;

b - ширина полотна, м.

С учетом фрикции производительность каландра будет выглядеть следующим образом, кг/ч:

$$\Pi_k = 60V \frac{1+f}{2} F\rho\alpha. \quad (9)$$

2. 2. Расчет распорных усилий и потребляемой мощности

Распорные усилия краскотерки между валками определяют по формуле, Н:

$$P = k_p \mu \omega \frac{R}{h_0} b, \quad (10)$$

где R – радиус валка, м;

μ - вязкость пасты в зазоре между валками, Н·с/м²;

k_p - коэффициент (при $i = 1 : 2 : 4$ для первого и второго валков $k_p = 0,0665$, для второго и третьего валков $k_p = 0,1508$; при $i = 1 : 3 : 9$ соответственно $k_p = 0,634$ и $0,0758$).

Мощность, расходуемая непосредственно на перетираание материала в зазорах между валками (для трёхвалковой краскотёрки), Н:

$$N_0 = \kappa_{N_1} \mu_{1-2} \omega^2 b \sqrt{\frac{R}{h_0}} \left(1 + \frac{\mu_{2-3}}{\mu_{1-2}} \kappa_{N_2} \right), \quad (11)$$

где при $i = 1 : 2 : 4$ $\kappa_{N_1} = 1,776$, $\kappa_{N_2} = 0,1724$;

при $i = 1 : 3 : 9$ $\kappa_{N_1} = 1,825$, $\kappa_{N_2} = 0,1812$;

μ_{1-2} , μ_{2-3} - вязкость материала в зазорах между первым и вторым, вторым и третьим валками, Н·с/м².

Мощность привода краскотёрки, Вт:

$$N_{np} = \frac{N_0}{\eta}, \quad (12)$$

где η - КПД краскотёрки, учитывающий затраты энергии на преодоление сил трения, возникающих при вращении валков в подшипниках и всех механизмов привода.

В процессе **вальцевания** возникают распорные силы, стремящиеся раздвинуть валки. Их необходимо учитывать, так как при чрезмерно больших величинах усилий выходит из строя предохранительное устройство и наблюдается изгиб валков. Величины распорных усилий и потребляемая мощность при вальцевании в предстационарных и стационарных режимах различны. Однако экспериментальные данные по распорным усилиям и потребляемой мощности показывают наличие только стационарного процесса, характеризующегося постоянными значениями этих силовых и энергетических характеристик.

В настоящее время существует три группы **методов расчета периодического процесса** обработки полимерных материалов на валковых машинах:

1. К первой группе относится метод, базирующийся на выводе эмпирических зависимостей, полученных обработкой экспериментальных данных с помощью теории подобия и анализа размерностей и уравнений. Используя этот метод можно вывести эмпирические зависимости для определения распорного усилия P (Н) и мощности, потребляемой вальцами N , кВт:

$$P = K_1 \rho D^{x_1} \left(\frac{h_0}{D}\right)^{y_1} \left(\frac{b}{D}\right)^{z_1} \left(\frac{d}{D}\right)^{u_1} A^{c_1}, \quad (13)$$

$$N = K_2 \rho D^{x_2} f^\omega \left(\frac{h_0}{D}\right)^{y_2} \left(\frac{b}{D}\right)^{z_2} \left(\frac{d}{D}\right)^{u_2} A^{c_2}, \quad (14)$$

где d и D - диаметры передних валков лабораторных и производственных вальцов, м;

Симплекс $\frac{d}{D}$, учитывающий изменение диаметров валков, введен для возможности перехода от лабораторной установки к проектированию производственной валковой машины.

h_0 – величина зазора, м;

ρ - плотность материала, кг/м³;

A – выбираемая физическая константа, характеризующая физическое свойство материала;

b - ширина вальцуемого материала, м;

K_1 и K_2 – коэффициенты пропорциональности (табл. 7);

$x_1, x_2, y_1, y_2, z_1, z_2, u_1, u_2, c_1, c_2, \omega$ – коэффициенты, определяемые экспериментально (табл. 7);

f - фрикция.

Таблица 7

Значения коэффициентов K_1 и K_2 и показателей степени для расчета величин P и N в уравнениях (13)-(14) (при вальцевании каучуков разных марок)

Марка каучука	K_1	K_2	x_1	x_2	y_1	y_2	z_1	z_2	c_1	c_2	ω
СКН-40	1805	0,06	1,4	2,0	0,1	0,1	0,7	0,6	-0,4	-0,7	-0,25
СКН-26	1275	0,05	1,4	-	0,1	-	0,7	-	-0,4	-	-
СКС-30	1393	0,05	1,6	2,3	0,7	0,1	0,7	0,6	-0,4	-0,7	-0,20
СКС-10	1118	0,04	1,6	-	0,7	-	0,7	-	-0,4	-	-

Формулы для расчета распорного усилия P (Н) и мощности, потреб-

ляемой вальцами N (кВт), выглядят следующим образом:

$$P = K_1 \rho D^{x_1} h_0^{y_1} b^{z_1} \text{Пл}^{c_1}, \quad (15)$$

где Пл – пластичность по Дефо (определяется экспериментально);

$$N = K_2 \rho D^{x_2} h_0^{y_2} b^{z_2} f^\omega \text{Пл}^{c_2} \omega, \quad (16)$$

где ω – угловая скорость валка, с^{-1} .

К достоинствам данного метода следует отнести то, что он выявляет непосредственную связь между распорным усилием P , мощностью N и физическими параметрами вальцуемой массы. Ценность метода снижается за счет того, что для каждого обрабатываемого материала и для каждого изменения технологического параметра процесса вальцевания необходимо проводить эксперимент, что практически не всегда возможно.

2. Ко второй группе относятся методы, построенные на теории пластической (только для материалов, обладающих явно выраженным пределом текучести) и упругой деформации.

а) Исходя из закономерностей пластической деформации материала между валками величина распорного усилия определяется, Н:

$$P = \frac{2L\chi\sigma_t h_{н.с}}{\delta - 1} \sqrt{\frac{2R}{h_n - h_k} \left[\left(\frac{h_{н.с}}{h_k} \right)^\delta - 1 \right]}, \quad (17)$$

где L - рабочая длина валка, м;

χ - коэффициент, принимаемый равным $1 < \chi < 1,25$;

σ_t - предел текучести, Н/м^2 ;

$\delta = \frac{f_1}{\text{tg} \frac{\alpha}{2}}$ - коэффициент, определяемый по соотношению, $(1-2) < \delta < 10$;

f_1 - коэффициент трения материала о поверхность валка, $f_1 = \text{tg} \varphi$ (φ - угол трения);

α - угол захвата;

$h_{н.с}$ - толщина нейтрального сечения, определяемая по формулам, м:

$$h_{н.с} = h_{к} \left[\frac{1 + \sqrt{1 + \left(\frac{h_{н}}{h_{к}}\right)^{\delta} (\mu^2 - 1)}}{\delta + 1} \right]^{\frac{1}{\delta}} \quad (18)$$

или

$$h_{н.с} \approx \sqrt{h_{к} \cdot h_{н}} \quad (19)$$

где

$$\delta = \frac{2f_1 y}{h_{н} - h_{к}}; \quad (20)$$

$h_{н}$ - начальная толщина материала, м;

$h_{к}$ - толщина материала после вальцевания, равная зазору между валками, м;

R – радиус бочки валка, м.

б) Уравнение для определения распорного усилия в случае упругой деформации между валками, H :

$$P = \frac{ED^2 b \sin \alpha}{H} \left(-\cos \alpha \right), \quad \cos \alpha = 1 - \frac{H - h_0}{D}, \quad (21)$$

где E – модуль упругости перерабатываемого материала, H/m^2 ;

D – диаметр валков, м;

b - ширина материала, м;

H – начальная толщина материала, м;

α - угол захвата;

h_0 – величина зазора между валками, м.

Данная группа методов находит ограниченное применение при инженерных расчетах валкового оборудования, в связи с тем, что не может удовлетворительно объяснить физическую сущность процесса вальцевания и каландрования полимерных материалов, так как не учитывает особенностей процесса их деформации и течения.

3. К третьей группе описания процессов вальцевания и каландрования относится теория, в основе которой лежит представление о том, что полимерные материалы в процессе переработки ведут себя как жидкости, а про-

цесс течения их может быть описан уравнениями гидромеханики. Эта теория получила название гидромеханической. В настоящее время опубликовано большое количество гидромеханических методов описания процессов периодического вальцевания полимерных материалов.

Все разработанные методы расчета основных параметров процесса периодического вальцевания основаны на приближенном решении задачи ламинарного течения несжимаемой вязкой или вязкоупругой жидкости между двумя вращающимися цилиндрическими валками.

В общем случае гидромеханическая задача течения вязкой или вязкоупругой несжимаемой жидкости сводится к решению четырех дифференциальных уравнений второго порядка в частных производных: уравнения движения жидкости, неразрывности потока, энергии и реологического уравнения. Так как считается, что в процессе обработки полимера на валковых машинах материал не изменяет своего агрегатного состояния, то уравнение, учитывающее его изменение, не составляется.

Несмотря на сравнительно большое количество гидромеханических методов, описывающих процесс обработки полимерного материала на валковом оборудовании, общими допущениями, принимаемыми в них для упрощения задачи, являются следующие:

- движение жидкости считается установившимся и плоскопараллельным;
- скорость движения материала в направлении оси x значительно превосходит скорость движения в направлении оси y ;
- материал принимается несжимаемым, и возникающие касательные напряжения значительно превосходят нормальные;
- движение жидкости принимается изотермическим, следовательно, уравнение энергии не рассматривается;
- силами тяжести, ввиду их малости, пренебрегают.

Основным отличием одного гидромеханического метода от другого яв-

ляется принятие различных реологических уравнений, описывающих поведение материала при деформировании, и различных граничных условий проведения процесса. Все гидромеханические методы по расчету основных параметров процессов обработки полимерных материалов на валковых машинах, в свою очередь, также можно подразделить на четыре группы:

- 1) симметричного процесса вальцевания и каландрования ньютоновских и неньютоновских жидкостей;
- 2) несимметричного процесса вальцевания и каландрования ньютоновских и неньютоновских жидкостей в изотермическом режиме;
- 3) основных параметров процесса вальцевания вязкоупругих жидкостей;
- 4) основных параметров процесса вальцевания и каландрования полимерных материалов в неизотермическом режиме.

1. Задача гидромеханического метода расчета симметричного процесса вальцевания и каландрования ньютоновских и неньютоновских жидкостей заключается в определении давления, компоненты вектора скорости частиц потока \mathcal{G}_x и \mathcal{G}_y - в функции от координат x и y , распорного усилия и технологической мощности.

Анализ движения материала проводится в прямоугольной системе координат, оси которой ориентированы, как показано на рис. 14.

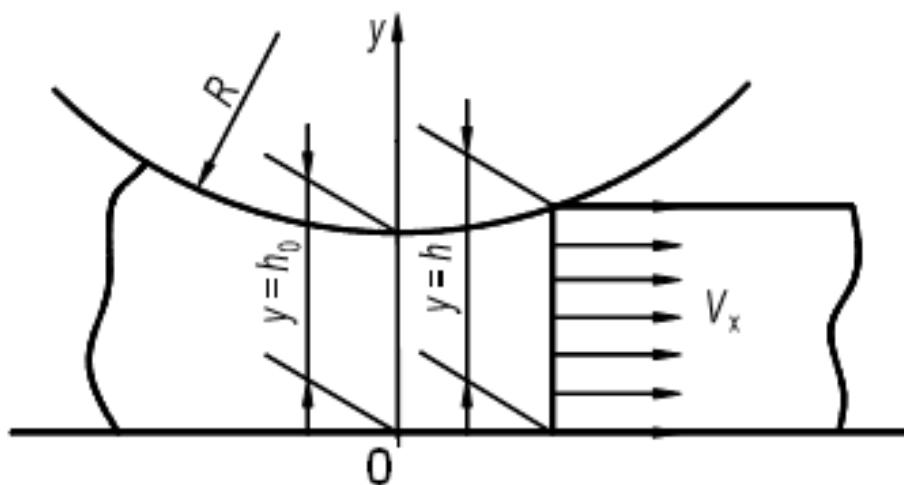


Рис. 14. Схема обозначений параметров вальцевания

Уравнение неразрывности вследствие условия несжимаемости записывается в виде:

$$\frac{\partial \mathcal{G}_x}{\partial x} = \frac{\partial \mathcal{G}_y}{\partial y}. \quad (22)$$

С учетом допущений –

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \mu \frac{\partial^2 \mathcal{G}_x}{\partial y^2} \quad (23)$$

и после интегрирования получается:

$$\gamma = \frac{d\mathcal{G}_x}{dy} = \frac{1}{\mu} \left(\frac{dP}{dx} \right) y + C_1. \quad (24)$$

Постоянная интегрирования C_1 находится из условия: скорость сдвига $\gamma(0)=0$ вследствие симметричности потока относительно оси x . При этом $C_1=0$.

$$\mathcal{G}_x = U + \frac{y^2 - h^2}{2\mu} \left(\frac{dP}{dx} \right) + C_2, \quad (25)$$

где U – окружная скорость вала, м/с; h – расстояние от плоскости симметрии до поверхности вала, м.

Постоянная интегрирования C_2 определяется из условия прилипания материала к поверхности вала: $\mathcal{G}_x(h) = \mathcal{G}_x(-h) = U$,

$$\mathcal{G}_x = U + \frac{1}{2\mu} \frac{dP}{dx} (y^2 - h^2). \quad (26)$$

Согласно рис. 14 величина h является функцией координаты X и связана с ней следующим соотношением:

$$h = h_0 + R - \sqrt{R^2 - x^2}, \quad (27)$$

$$\text{откуда } h = h_0 + \frac{x^2}{2R}. \quad (28)$$

С учетом того, что $X = \frac{x}{\sqrt{2Rh_0}}$ (29)

$$\text{и } Y = \frac{y}{\sqrt{2Rh_0}} \quad (30)$$

получаем: $h = h_0(1 + X^2)$. (31)

Выражение для градиента давления будет выглядеть следующим образом:

$$\frac{dP}{dX} = \frac{\mu u}{h_0} \sqrt{\frac{18R}{h_0} \left[\frac{X^2 - X_k^2}{(1 + X^2)^3} \right]}, \quad (32)$$

где $X_k = \frac{x_k}{\sqrt{2Rh_0}}$ - значение координаты сечения выхода материала.

Мощность, необходимая для приведения обоих валков в движение определяется, если известен крутящий момент на них. Крутящий момент на площадке dx валка равен:

$$dM = \tau_b L dx R, \quad (33)$$

где τ_b - напряжение сдвига, которое равно

$$\tau_b = \frac{dP}{dx} h = \frac{h_0}{\sqrt{2Rh_0}} (1 + X^2) \frac{dP}{dX}. \quad (34)$$

С учетом (31) и (34) получаем:

$$M = 3U \mu RL \sqrt{\frac{2R}{h_0}} \varphi(X_k). \quad (35)$$

Мощность привода определяется по следующей формуле:

$$N_n = 2M\omega = \frac{2MU}{R} = 6U^2 \mu L \sqrt{\frac{2R}{h_0}} \varphi(X_k), \quad (36)$$

где ω - угловая скорость валков.

Выражения для вычисления максимального давления P (Н/м²) и распорного усилия P_n (Н) выглядят следующим образом:

$$P = 4\mu U \sqrt{\frac{R(h-h_0)}{h^2}}, \quad (37)$$

$$P_n = 2\mu RL \left(\frac{1}{h_0} - \frac{1}{h} \right), \quad (38)$$

где h – толщина слоя материала в начале дуги захвата, м;

h_0 – величина минимального зазора между валками, м;

μ - эффективная вязкость, Н·с/м²;

R – радиус валка;

u - скорость валка, м/с.

Дальнейшее усовершенствование теории симметричного процесса

вальцевания полимерных материалов проводится совместным решением уравнения переноса количества движения и реологических характеристик неньютоновских жидкостей. Величина распорного усилия тогда определяется как:

$$P_n = 2\mu_1 RL \left(\frac{U}{h_0} \right)^n P(X, n). \quad (39)$$

При $n=1$ (ньютоновская жидкость) уравнение (39) будет аналогично уравнению (38). Мощность, необходимая для преодоления сил трения в области деформации, определяется:

$$N_n = 2ULT, \quad (40)$$

где T – сумма сил трения о поверхности валков,

L - рабочая длина валка, м.

2. Несимметричность процесса вальцевания полимерных материалов в изотермическом режиме обусловлена разностью окружных скоростей заднего и переднего валков, то есть вальцевание осуществляется с фрикцией. Исходная система уравнений и основные допущения остаются такими же, как и в случае симметричного процесса вальцевания:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dP}{dx} &= \frac{d\tau}{dy}; \\ \frac{dP}{dy} &= 0; \\ \tau &= \mu_1 \left(\frac{\partial \mathcal{G}_x}{\partial y} \right)^{n-1} \left(\frac{\partial \mathcal{G}_x}{\partial y} \right). \end{aligned} \right\} \quad (41)$$

Отличие состоит в принятии граничных условий, которые имеют следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= \omega_1 (R + h_0 - h) \approx \omega_1 R \text{ при } y = +h; \\ u_2 &= \omega_2 (R + h_0 - h) \approx \omega_2 R \text{ при } y = -h, \end{aligned} \right\} \quad (42)$$

где $\omega_1 > \omega_2$ - угловые скорости вращения валков.

Координата сечения максимального давления, определенная из условия $\frac{dP}{dX} = 0$, так же как и в случае симметричного вальцевания, равна $X_1 = -X_k$.

Силовые и энергетические параметры несимметричного процесса вальцевания определяются численным интегрированием аналогично симметричному процессу.

Величина распорного усилия при различных скоростях вращения двух валков, т. е. при наличии фрикции, может быть определена формулой, кН:

$$P_p = (1 + f) \mu_1 L R \left(\frac{u_1}{h_0} \right)^n F, \quad (43)$$

где функция $F = 1,93 + 2,63n + 1,22n^2$;

n - индекс течения;

f - фрикция;

μ_1 - эффективная вязкость, Па·с;

L - рабочая длина валка, м;

R - радиус валка, м;

h_0 - минимальный зазор между валками, м;

u_1 - скорость вращения переднего валка, м/с.

Мощность привода валков определяется по формуле:

$$N_D = 2(1 + f) \mu_1 L u_1 R \left(\frac{u_1}{h_0} \right)^n \frac{\sqrt{2Rh_0}}{\eta} \Phi, \quad (44)$$

где функция $\Phi = 4,67 + 8,06n + 4,09n^2$;

η - КПД привода вальцов.

3. Описанные выше два гидромеханических метода расчета процессов вальцевания и каландрования полимерных материалов не учитывают эластических свойств перерабатываемых материалов. Вследствие этого с их пози-

ций невозможно объяснить ряд этапов, отмечаемых при вальцевании реальных полимеров.

В настоящее время опубликовано достаточно работ по созданию гидромеханического метода расчета процесса вальцевания и каландрования вязкоэластических материалов. В то же самое время еще нет достаточно надежных и простых методик, пригодных для инженерных расчетов процессов переработки вязкоэластических материалов на валковых машинах.

Решение данной задачи течения полимерной среды в зазоре сводится к совместному решению реологического уравнения тиксотропии, неразрывности деформаций и движения. Известно, что тиксотропия – это обратимое во времени изменение свойств среды под влиянием внешних механических воздействий. Механические свойства среды в неразрушенном состоянии определяются моделью, состоящей из конечной совокупности параллельно соединенных максвелловских элементов, моделирующих элементы физической структуры и расположенных в порядке возрастания времен релаксации, или эквивалентной моделью, состоящей из счетного множества последовательно соединенных элементов Кельвина-Фойгта с одним последовательно присоединенным максвелловским элементом. Теория тиксотропии учитывает при деформации полимерных сред как полный релаксационный спектр, так и неньютоновский характер вязкости.

4. Математическая модель неизотермического процесса вальцевания и каландрования полимерных материалов строится в предположении, что реологические свойства смеси описываются степенным уравнением:

$$\tau = \mu_1 \left(\frac{\partial \mathcal{G}_x}{\partial y} \right)^{n-1} \left(\frac{\partial \mathcal{G}_x}{\partial y} \right). \quad (45)$$

Кинематическая картина движения и все допущения и предположения остаются такими же, как и в случае симметричного вальцевания anomalно вязкой жидкости. Система дифференциальных уравнений имеет следующий

ВИД:

$$\left. \begin{aligned}
 \frac{dP}{dx} &= \frac{d\tau_{xy}}{dy}; \\
 \frac{\partial \mathcal{G}_x}{\partial x} + \frac{\partial \mathcal{G}_y}{\partial y} &= 0; \\
 \frac{dP}{dy} &= 0; \\
 \frac{dP}{dz} &= 0; \\
 \tau_{xy} &= \mu_1 \left(\frac{\partial \mathcal{G}_x}{\partial y} \right)^{n-1} \left(\frac{\partial \mathcal{G}_x}{\partial y} \right); \\
 \mu_1 &= \mu_0 e^{-b(T-T_0)}; \\
 \rho c_v \mathcal{G}_x \frac{\partial T}{\partial x} &= \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + A \tau_{xy} \frac{\partial \mathcal{G}_x}{\partial y},
 \end{aligned} \right\} (46)$$

где μ_0 - коэффициент однородной вязкости материала в сечении входа в область деформации;

c_v - удельная теплоемкость при постоянном объеме;

ρ - плотность жидкости;

A - термический эквивалент работы;

λ - коэффициент теплопроводности материала;

b - экспериментальный коэффициент.

Начальные и граничные условия:

$$P = 0, T = T_0 \text{ при } X = X_0;$$

$$P = 0, \tau = 0, \nu = \text{const} \text{ при } X = X_k;$$

$$\frac{\partial \mathcal{G}}{\partial \eta} = 0, \tau = 0, \frac{\partial T}{\partial \eta} = 0 \text{ при } \eta = 0;$$

$$T_0 = T_w, u_1 = u_2 = u \text{ при } \eta = \pm 1.$$

Решение системы уравнений (46) с учетом начальных и граничных ус-

ловий позволяет рассчитать температурные поля и энергосиловые параметры процесса. Результаты вычислений энергосиловых параметров процесса каландрования по неизотермической модели не соответствуют результатам вычислений таких же параметров по изотермической модели каландрования.

В установившемся режиме расчет силовых и энергетических параметров вальцевания наиболее целесообразно выполнять по методу В.Н. Красовского с помощью номограмм и таблиц.

Расчет проводят следующим образом.

Исходными данными для расчета являются:

- схема расположения валков;
- диаметр валка $D = 2 \cdot R$;
- длина рабочей части валка L ;
- частота вращения каждого валка n ;
- фрикция f ;
- минимальный зазор между валками $H_0 = 2h_0$;
- толщина запаса H_s ;
- реологические параметры перерабатываемого материала m и μ при соответствующей температуре переработки (табл. 8).

Таблица 8

Значения реологических констант пластических материалов и композиций на основе ПВХ (различных пленок) и некоторых резиновых смесей

Композиция	Температура переработки, °С	Реологические константы	
		m	$\mu \cdot 10^{-5}, \text{Па} \cdot \text{с}^m$ ($\mu, \text{кгс} \cdot \text{с}^m / \text{см}^2$)
1	2	3	4
Полиэтилен высокой плотности (при показателе текучести расплава 1,2 г/10 мин)	140	0,42	0,17
	160	0,43	0,1215
	180	0,45	0,0893
	200	0,46	0,076

Продолжение табл.8

1	2	3	4
	220	0,48	0,066
	240	0,50	0,058
Полиэтилен низкой плотности (при показателе текучести расплава 0,3 (2,0) г/10 мин))	140	0,34 (0,32)	0,4183 (0,3064)
	160	0,35 (0,34)	0,3242 (0,2375)
	180	0,37 (0,38)	0,2319 (0,1529)
	200	0,40 (0,41)	0,1588 (0,1023)
	220	0,40 (0,42)	0,13 (0,078)
	240	0,40 (0,44)	0,1198 (0,0712)
Полипропилен (при показателе текучести расплава 0,7 г/10 мин)	180	0,17	0,42
	200	0,27	0,188
	220	0,35	0,0892
	240	0,375	0,062
Поливинилхлорид непластифицированный	140	0,38	1,13
	160	0,40	1,01
	180	0,41	0,88
	200	0,41	0,73
Поливинилхлорид пластифицированный	140	0,20	0,85
	160	0,24	0,578
	180	0,28	0,315
	200	0,34	0,165
	220	0,36	0,11
	240	0,36	0,09
НК (пластикат П-1) при ньютоновской вязкости $\eta_n=10$ МПа·с	70-80	0,15	1,5
	70-80	0,2	2,25
СКИ-3 при ньютоновской вязкости $\eta_n=2-5$ МПа·с	70-80	0,3	0,75
	70-80	0,2	1,25
СКД при ньютоновской вязкости $\eta_n=1-3$ МПа·с	70-80	0,2	0,80
	70-80	0,1	1,75
БСК (европрен 1500) $\eta_n=2-3$ МПа·с	70-80	0,2	-
СКМС-30 АРК при ньютоновской вяз- кости $\eta_n=2-3$ МПа·с	70-80	0,25	0,9
	70-80	0,20	-
БК (полисар-300) при ньютоновской вязкости $\eta_n=1$ МПа·с	70-80	0,2	0,7
Пленка			
Винипластовая	175	0,32	1,18
Пластикат для газовой аппаратуры	140	0,31	0,37

Окончание табл.8

1	2	3	4
	150	0,31	0,22
Медицинская	145	0,25	0,55
Светотехническая	165	0,23	0,40
Галантерейная	170	0,28	0,38
Плащевая	165	0,23	0,48
Упаковочная	160	0,31	0,22
Линолеум на основе ПВХ-С63М	145	0,35	0,60
Пластикат прокладочный	155	0,17	0,36
Резиновая смесь			
Облицовочная для спортивной обуви	60	0,24	0,32
	80	0,24	0,24
Для резинотехнических изделий на основе СКИ-3	40	0,21	1,45
	60	0,21	0,72
	80	0,21	0,50
На основе каучука СКМС для резинотехнических изделий	60	0,18	8,3
	80	0,18	5,9
Брекерная для деталей шин	80	0,20	0,80
	90	0,20	0,64
На основе НК с сажей ламповой и каолином	60	0,30	0,38
	80	0,33	0,30
На основе наирита с сажей газовой, сажей ламповой и каолином	40	0,20	2,30
	60	0,20	1,05
	80	0,20	0,84
На основе СКМС-30 АРК, содержащей 50 мас.ч. технического углерода	120	0,60	0,75
		0,52	0,89
ТГ-10		0,41	1,41
ПМ-50		0,36	1,55
ПМ-75		0,34	2,32
ПМ-100		0,27	1,36
ПМ-100В			
ДГ-100			

1. Используя номограмму (рис. 15) определяют значение параметра B при известной величине $f+1$, величина которого зависит от индекса течения m , окружной скорости вала v , коэффициента K , параметров C и A . Затем по

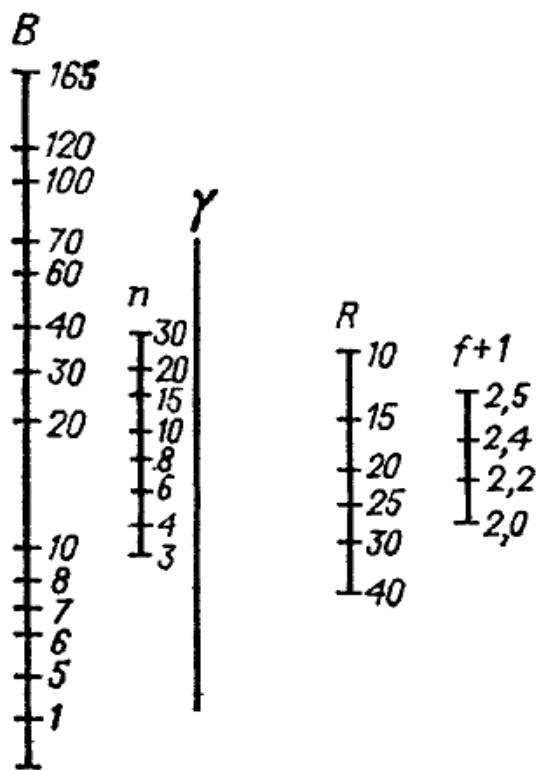


Рис.15. Номограмма для определения параметра B

шкале n находят точку, соответствующую частоте вращения вала (из исходных данных). Две точки соединяют прямой и на немой шкале γ определяют точку пересечения этой прямой с шкалой, которую, в свою очередь, соединяют с точкой по шкале R , соответствующей заданному значению радиуса R . Эта прямая пересекает шкалу B , фиксируя значение B в точке пересечения.

2. По кривым, представленным на рис.16, по заданному значению m и найденному B определяют B^m .

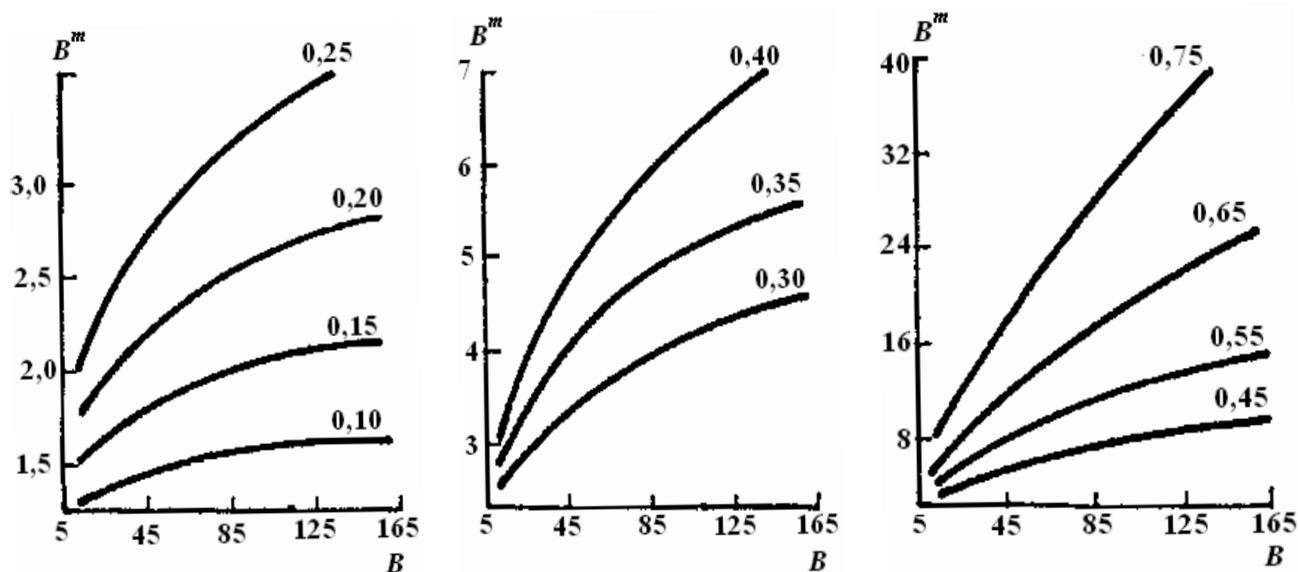


Рис. 16. Кривые для определения величины B^m в диапазоне изменения m от 0,1 до 0,75

3. По данным табл. 9 находят значение K при известных значениях h_0 и индекса течения m .

Численные значения коэффициента K

h_0 , см	Значения m										
	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,55	0,65	0,75
0,02	13,40	17,57	22,81	29,46	37,77	48,34	61,71	78,61	127,0	204,4	327,9
0,04	8,84	11,20	14,04	17,50	21,70	26,82	33,07	40,70	61,37	92,16	137,9
0,06	6,93	8,60	10,57	12,91	15,69	19,00	22,96	27,68	40,09	57,81	83,08
0,08	5,88	7,14	8,64	10,40	12,46	14,88	17,77	21,06	29,03	41,51	57,97
0,10	5,10	6,17	7,39	8,79	10,41	12,30	14,48	17,02	23,42	32,08	43,82
0,12	4,57	5,48	6,50	7,67	9,00	10,53	12,29	14,32	19,34	26,02	34,09
0,16	3,85	4,54	5,32	6,18	7,15	8,25	9,49	10,90	14,31	18,70	24,57
0,18	3,58	4,21	4,90	5,66	6,51	7,47	8,54	9,74	12,64	16,33	21,04
0,20	3,36	3,93	4,55	5,23	5,98	6,82	7,77	8,82	11,32	14,47	18,44

4. По номограмме (рис.17) определяют значения параметра C , для этого через соответствующие отметки на шкалах B^m и K проводят прямую до пересечения с шкалой C .

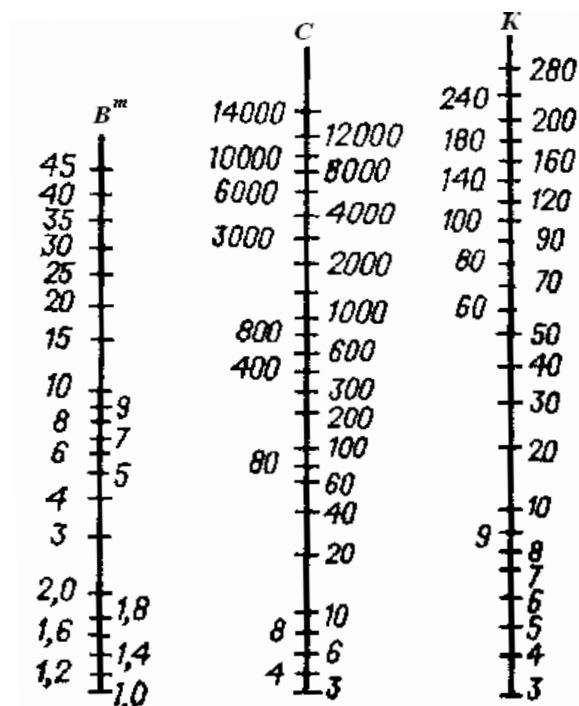


Рис. 17. Номограмма для определения параметра B^m

5. По формуле: $A = c\mu\sqrt{2R}$ (47) -

рассчитывают величину параметра A .

6. По данным табл. 10 при известных значениях m и отношению H_s/H_0 находят параметры, из которых рассчитывают по соответствующим формулам: максимальное удельное давление в зазоре p_{max} (МПа); распорное усилие между валками P (кН); суммарную силу трения F (кН).

Зная суммарную силу трения F , определяют полезную мощность, кВт:

$$N = FR\omega, \quad (48)$$

где ω - угловая скорость вращения валков.

Таблица 10

Численные значения силовых и энергетических параметров

H_s/H_0	Формулы для расчета	Значения m										
		0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,55	0,65	0,75
5-10	p_{\max}/A	0,67	0,60	0,54	0,48	0,43	0,39	0,35	0,31	0,25	0,21	0,17
	$P / AL\sqrt{2Rh_0}$	0,79	0,70	0,62	0,55	0,49	0,44	0,39	0,35	0,29	0,25	0,21
	F / ALh_0	2,8	2,42	2,11	1,85	1,62	1,44	1,27	1,13	0,91	0,73	0,60
12-20	p_{\max}/A	0,72	0,65	0,59	0,53	0,48	0,43	0,39	0,36	0,29	0,24	0,20
	$P / AL\sqrt{2Rh_0}$	1,04	0,92	0,82	0,74	0,66	0,60	0,54	0,50	0,41	0,35	0,30
	F / ALh_0	3,87	3,38	2,96	2,60	2,30	2,04	1,82	1,63	1,32	1,09	0,90
25-50	p_{\max}/A	0,75	0,68	0,62	0,56	0,51	0,46	0,42	0,38	0,32	0,26	0,22
	$P / AL\sqrt{2Rh_0}$	1,26	1,14	1,03	0,93	0,85	0,78	0,72	0,67	0,62	-	-
	F / ALh_0	5,15	4,58	4,09	3,69	3,32	3,03	2,80	2,64	3,45	-	-
Более 50	p_{\max}/A	0,79	0,71	0,65	0,59	0,54	0,49	0,45	0,41	0,34	0,28	0,24
	$P / AL\sqrt{2Rh_0}$	1,60	1,49	1,41	1,45	-	-	-	-	-	-	-
	F / ALh_0	7,93	7,75	8,21	13,37	-	-	-	-	-	-	-

В основе анализа процессов смешения на вальцах, как и каландрования, лежит теория плоского изотермического потока аномально вязкого материала. Поэтому данная методика может быть использована и при расчете силовых и энергетических параметров каландрования.

Однако в расчете каландров есть свои особенности. Наибольшее распространение имеют трёх- или четырёхвалковые каландры. Как правило, на них формируются плёночные или листовые материалы. В случае четырёхвалкового каландра течение полимеров происходит через их начальный, промежуточный и калибрующий зазоры, величины которых будут зависеть от окружных скоростей вращения второй пары валков.

Если $\vartheta_1 < \vartheta_2 (< \vartheta_n)$, то $\vartheta_2 = f\vartheta_1$, тогда зависимость между начальным h_k и промежуточным h_k^n ($n=1, 2 \dots n$) зазорами каландра (а также ряда последовательных) следующая:

$$h_k^n = \frac{f_1 \cdot f_2 \cdot \dots \cdot f_n \cdot (f_1 + f_2 + f_3 + \dots + f_n)}{f_1 \cdot f_2 \cdot \dots \cdot f_{n-1} \cdot (f_1 + f_2 + f_3 + \dots + f_n)} \cdot h_k \quad (49)$$

При $g_1 > g_2 > \dots > g_n$:

$$h_k^n = \frac{f_1 \cdot f_2 \cdot \dots \cdot f_n \cdot (f_1 + f_2 + f_3 + \dots + f_n)}{(f_1 + f_2 + f_3 + \dots + f_n)} \cdot h_k \quad (50)$$

В соответствии с этим распорное усилие между валками каландра определяют по формуле, Н:

$$P = 3\mu_g RL \frac{g}{2h_0} q(\lambda), \quad (51)$$

где μ_g - эффективная вязкость массы между валками каландра, Н·с/м²;

R - радиус валка, м;

L - рабочая длина валка, м;

g - скорость валков, м/с;

h₀ - зазор между валками, м;

q(λ) - величина определяется по графику (рис. 18) в зависимости от значения

λ, которое находят по формуле:

$$\lambda = \sqrt{\frac{h_k}{h_0} - 1}, \quad (52)$$

где h_k - толщина материала на выходе из зазора между валками, м.

Мощность, затрачиваемая на преодоление сил вязкого трения, возникающего между вращающимися валками, будет равна, Вт:

$$N = 3\mu_g L g^2 \sqrt{\frac{4R}{h_0}} f(\lambda), \quad (53)$$

где f(λ) - величина, определяемая по

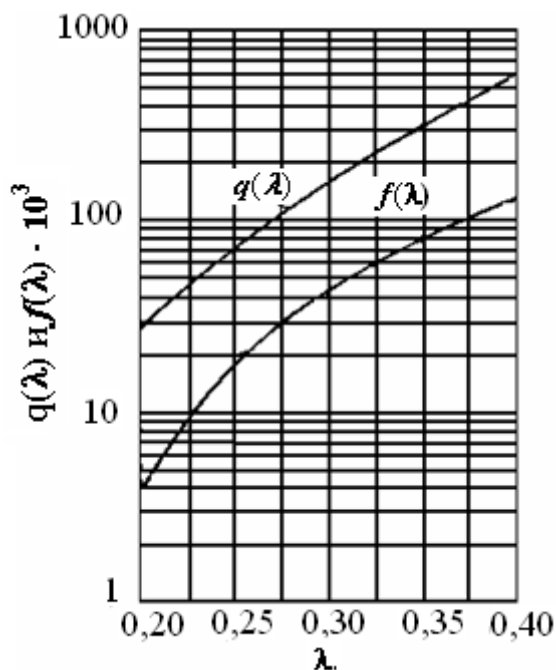


Рис. 18. График зависимости q(λ) от λ и f(λ) от λ

графику (рис. 18).

Общая технологическая мощность привода каландра рассчитывается по формуле, кВт:

$$N_{np} = \sum_1^z N, \quad (54)$$

где N – мощность, потребляемая одной парой валков, кВт;

z - количество пар валков, в зазоре которых происходит обработка материалов.

2.3. Тепловые расчеты валковых машин

2.3.1. Тепловой расчет краскотерочной машины

Прохождение пасты (или любого другого материала) через зазоры между валками способствует её нагреву за счет преобразования механической энергии в тепловую. С целью предупреждения перегрева пасты свыше определенного предела, валки краскотерочных машин выполняются полыми и охлаждаются водой, непрерывно подаваемой вовнутрь валков.

Уравнение теплового баланса краскотерки:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3, \quad (55)$$

где Q - тепло, выделяющееся при перетире пасты за час, кДж/ч;

Q_1 - теплосодержание пасты, кДж/ч;

Q_2 - тепло, отдаваемое пастой и валками в окружающую среду, кДж/ч;

Q_3 - тепло, отводимое от пасты охлаждающей водой, кДж/ч.

Величина тепловыделения Q определяется по полезной мощности машины N_0 (кВт), расходуемой непосредственно на обработку пасты (11):

$$Q = N_0 3600, \quad (56)$$

$$Q_1 = G_n c_n (T_{n.k} - T_{n.n}), \quad (57)$$

где G_n – масса пасты, пропускаемой через валки машины, кг/ч;

c_n – теплоемкость пасты, кДж/(кг·град);

$T_{n.n}, T_{n.k}$ - температура пасты (начальная и конечная), °С.

$$Q_2 = \sum_i^n \alpha_i F_i \Delta T_i 3600, \quad (58)$$

где α_i - коэффициенты теплоотдачи от i -й теплотеряющей поверхности (валков машины и пасты на валках) к воздуху, кВт/(м² · град);

F_i – площадь i -й теплотеряющей поверхности (открытой теплоотдачи и пасты, закрывающей часть поверхности валков), м²;

суммарная поверхность валков машины, м²:

$$F = 3 \cdot 2\pi RL;$$

ΔT_i - разность температур i -й теплотеряющей поверхности (температуры стенки валка и поверхности пасты) и окружающего воздуха, °С.

В инженерных расчетах α_i часто определяют приближенно по эмпирическим уравнениям. Так, при расчете количества тепла, теряемого наружной поверхностью машин, находящихся в закрытых помещениях, в окружающую среду, α_i можно определять по формуле, Вт/(м²·град):

$$\alpha_i = 9,74 + 0,07\Delta T_i. \quad (59)$$

$$Q_3 = G_v c_v (T_{v.k} - T_{v.n}), \quad (60)$$

где G_v – расход охлаждающей воды, кг/ч;

c_v – теплоемкость воды, кДж/(кг·град);

$T_{v.n}, T_{v.k}$ - температура охлаждающей воды (начальная и конечная), °С.

$$Q_3 = Q - Q_1 - Q_2, \quad (61)$$

$$G_v = \frac{Q - Q_1 - Q_2}{c_v (T_{v.k} - T_{v.n})}. \quad (62)$$

2.3.2. Тепловой расчет вальцов

При переработке полимерных материалов на вальцах (и каландрах) происходят сложные тепловые процессы. В зависимости от режима работы и

свойств перерабатываемого материала тепловой поток следует отводить или подводить к машине. Необходимость охлаждения и нагрева определяется тепловым балансом машины, который в общем виде может быть записан на основе закона сохранения энергии, согласно которому приход теплоты в аппарат равен расходу теплоты в этом же аппарате:

$$Q_{прих} = Q_{расх} \cdot \quad (63)$$

Исходными данными для проведения теплового расчета являются: температурные характеристики процесса, проводимого в машине; данные материального расчета машины; теплофизические характеристики веществ и материалов.

Уравнение теплового баланса вальцов:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3, \quad (64)$$

где Q - тепло, выделяющееся при работе вальцов за цикл, кДж/цикл;

Q_1 - тепло, уносимое вместе с вальцованным материалом, кДж/цикл;

Q_2 - тепло, отдаваемое валками в окружающую среду, кДж/цикл;

Q_3 - тепло, уносимое охлаждающей водой, кДж/цикл.

Величина тепловыделения Q определяется по полезной мощности, потребляемой одной парой валков, рассчитанной с помощью номограмм и таблиц, как показано выше [формула (48)]:

$$Q = N\tau, \quad (65)$$

τ - продолжительность цикла, с.

$$Q_1 = Gc(T_K - T_H), \quad (66)$$

где G – количество материала, удаляемого с вальцов (из материального баланса), кг/цикл;

c – удельная теплоемкость перерабатываемого материала, кДж/(кг·град);

T_H, T_K - температура смеси (начальная и конечная), °С.

Тепло, отдаваемое валками в окружающую среду, Q_2 складывается из тепла, отдаваемого конвекцией Q_K и лучеиспусканием Q_L :

$$Q_2 = Q_K + Q_L \quad (67)$$

где

$$Q_K = \alpha_K F (t_\theta - t_{o.c}) \tau, \quad (68)$$

α_K - коэффициенты теплоотдачи от поверхности валка в окружающую среду, кВт/(м² · град).

Для неподвижного воздуха,

$$\alpha_K = 1,18 \cdot 10^{-3} \sqrt[4]{\frac{(t_\theta - t_{o.c})}{D}}, \quad (69)$$

где t_θ - температура стенки валка, °С;

$t_{o.c}$ - температура окружающего воздуха, °С;

D - диаметр переднего валка, м;

для воздуха, движущегося со скоростью v , м/с,

$$\alpha_K = 2 + 10\sqrt{v}, \quad (70)$$

F - поверхность открытой части валков, $F = F_2 - F_1$, м²;

$$F_1 = \frac{F \alpha}{360n} \text{ м}^2,$$

где n - число валков вальцов;

$F_2 = 2\pi DL$ - суммарная поверхность валков машины, м²;

τ - продолжительность цикла, с.

$$Q_L = FC \left[\left(\frac{T_\theta}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{o.c}}{100} \right)^4 \right] \tau, \quad (71)$$

где F - поверхность излучения, м²;

C - общий коэффициент излучения, приближенно равный коэффициенту излучения валка, свободного от перерабатываемого материала 0,11 кВт/(м² · К);

T_θ - температура валка, К;

$T_{o.c}$ - температура окружающего воздуха, К;

Тепло, уносимое охлаждающей водой Q_3 :

$$Q_3 = Q - Q_1 - Q_2, \quad (72)$$

$$Q_3 = Wc\Delta t, \quad (73)$$

где W – расход охлаждающей воды, кг;

$c_{\text{в}}$ – теплоемкость воды, кДж/(кг·К);

Δt - разность температур воды, уходящей от вальцов и поступающей к ним, К.

$$W = \frac{Q - Q_1 - Q_2}{c\Delta t}. \quad (74)$$

2.3.3. Тепловой расчет каландра

При рассмотрении теплового баланса каландров за основу можно принять уравнение теплового баланса вальцов. Однако при каландровании, как правило, требуется подводить тепло к рабочим поверхностям валков. Это объясняется высокой производительностью каландров при однократном прохождении материала и сравнительно небольшой относительной деформацией материала по высоте. В связи с этим уравнение теплового баланса каландра имеет следующий вид:

$$Q_N + Q_{n.men} = Q_m + Q_{nom}, \quad (75)$$

где Q_N - тепло, выделяемое за счёт работы деформации обрабатываемого материала, кВт;

$Q_{n.men}$ - тепло, подводимое к валку теплоносителем, кВт;

Q_m - тепло, расходуемое на нагрев материала, кВт;

Q_{nom} - тепло, теряемое в окружающую среду, кВт;

Величина Q_N определяется по полезной мощности (N_{cp}), потребляемой работающим каландром:

$$Q_N = N_{cp}, \quad (76)$$

$$Q_m = G_m c_m (T_k - T_n), \quad (77)$$

где G_m – количество материала, удаляемого с каландра (из материального баланса), кг;

c_m – удельная теплоемкость перерабатываемого материала, кДж/(кг·град);

T_n, T_k – температура смеси (начальная и конечная), град.

Тепло, теряемое в окружающую среду (Q_{nom}), определяется следующим образом:

$$Q_{nom} = \alpha^P F_1 (t_{cm.m} - t_{cp}) + \alpha^M F_2 (t_{cm.g} - t_{cp}), \quad (78)$$

где α^P – коэффициент теплоотдачи материала на валках каландра, кВт/(м²·град);

$$\alpha^P = \alpha_k^P + \alpha_l^P, \quad (79)$$

где α_k^P – коэффициент теплоотдачи конвекцией с поверхности материала на валках каландра, кВт/(м²·град);

$$\alpha_k^P = 1,18 \cdot 10^{-3} \sqrt[4]{\frac{(t_{cm.m}^P - t_{cp})}{D}}, \quad (80)$$

где D – диаметр валков, м;

α_l^P – коэффициент теплоотдачи лучеиспусканием с поверхности материала на валках каландра, кВт/(м²·град);

$$\alpha_l^P = c_2 \frac{\left[\left(\frac{T_{cm.m}^P}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{cp}}{100} \right)^4 \right]}{(t_{cm.m}^P - t_{cp})}, \quad (81)$$

где c_2 – коэффициент излучения, кВт/(м²·град⁴).

α^M – коэффициент теплоотдачи с открытой металлической поверхности валков, кВт/(м²·град);

$$\alpha^M = \alpha_k^M + \alpha_l^M, \quad (82)$$

где α_k^M – коэффициент теплоотдачи валков конвекцией, кВт/(м²·град);

$$\alpha_k^M = 1,18 \cdot 10^{-3} \sqrt[4]{\frac{(t_{cm.в}^M - t_{cp})}{D}}, \quad (83)$$

α_n^M - коэффициент теплоотдачи валков лучеиспусканием с открытой поверхности валка, кВт/(м²·град);

$$\alpha_n^M = c_1 \frac{\left[\left(\frac{T_{cm.в}^M}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{cp}}{100} \right)^4 \right]}{(t_{cm.в}^M - t_{cp})}, \quad (84)$$

где c_1 – коэффициент излучения, кВт/(м²·град⁴).

F – общая поверхность теплоотдачи валков, м²:

$$F = \pi D L n, \quad (85)$$

где L - рабочая длина валков, м;

n – число валков каландра.

F_1 – поверхность материала, закрывающего часть поверхности валков, м²:

$$F_1 = \frac{F \alpha}{n \cdot 360}, \quad (86)$$

α - суммарный центральный угол обхвата полимерным материалом валков, °.

F_2 – поверхность открытой теплоотдачи валков, м²:

$$F_2 = F - F_1. \quad (87)$$

$t_{cm.м}, t_{cm.в}$ - температуры поверхности (стенки) материала и стенки валка, °С;

t_{cp} - температура окружающей среды, °С.

Из условий теплового баланса (75) $Q_{n.мен}$:

$$Q_{n.мен} = Q_M + Q_{nom} - Q_N.$$

При известном значении $Q_{n.мен}$ определяют расход пара за единицу времени (с, ч) для обогрева валков, кг/с (кг/ч):

$$G = \frac{Q_{n.мен}}{(i_n - i_k)}, \quad (88)$$

где i_n, i_k - энтальпии пара при выбранном давлении и конденсата, кДж/кг.

2.4. Примеры расчета валковых машин

2.4.1. Примеры расчета производительности, силовых и энергетических параметров

Пример 1. Определить производительность трехвалковой краскотерки по следующим данным: диаметр валков 0,45 м; длина 1,0 м; число оборотов валка, вращающегося с наибольшей скоростью, 2,5 об/с; соотношение чисел оборотов валков 1 : 2 : 4; величина зазора между первым и вторым валками 0,0001 м; плотность пасты 1800 кг/м³.

Решение

Окружная скорость валка, имеющего наибольшее число оборотов, м/с:

$$\omega = \pi D n, \quad (89)$$

где D – диаметр валков, м;

n – число оборотов, об/с.

$$\omega = 3,14 \cdot 0,45 \cdot 2,5 = 3,53 \text{ м/с.}$$

Производительность краскотерки вычисляют по формуле (4):

$$P = k_n \psi \omega h_0 b \rho,$$

где $k_n = 2509$; $\psi = 0,8$; $h_0 = 0,0001$ м; $b = 1,0$ м; $\rho = 1800$ кг/м³;

$$P = 2509 \cdot 0,8 \cdot 3,53 \cdot 0,0001 \cdot 1,0 \cdot 1800 = 1275,38 \text{ кг/ч.}$$

Пример 2. Определить производительность вальцов СМ-800 $\frac{550}{550}$ для из-

готовления резиновой смеси. Продолжительность пластикации каучука 12 мин, введения ускорителей, красителей, наполнителей и мягчителей 10 мин. Продолжительность смешения при четырех подрезках 5 мин. Плотность резиновой смеси 1395 кг/м³.

Решение

Определяем продолжительность цикла переработки $\tau_{ц}$, который складывается

ся из пластикации, введения ускорителей, красителей, наполнителей, мягчителей и смешения, мин:

$$\tau_{\text{ц}} = \tau_{\text{пл}} + \tau_{\text{вс}} + \tau_{\text{см}}$$

$$\tau_{\text{ц}} = 12 + 10 + 5 = 27.$$

Производительность вальцов ($\Pi_{\text{п}}$) определяется по формуле (5), кг/ч:

$$\Pi_{\text{п}} = \frac{60V\rho\alpha}{\tau_{\text{ц}}},$$

где $V \approx (0,0065 \div 0,0085) DL \approx 0,0065 \cdot 55 \cdot 80 = 29 \text{ л} = 29 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$.

$$\Pi_{\text{п}} = \frac{60 \cdot 29 \cdot 10^{-3} \cdot 1395 \cdot 0,9}{27} = 81 \text{ кг/ч.}$$

Пример 3. Рассчитать производительность вальцов непрерывного действия с однократным прохождением материала между валками при следующих условиях: диаметр заднего валка 40 см, частота вращения валков 23 мин⁻¹, ширина ленты материала, снимаемого с валка, 100 см, толщина ленты материала, выходящего из зазора 0,35 мм, плотность материала на выходе из зазора 1100 кг/м³, коэффициент использования машинного времени 0,9.

Решение

Производительность вальцов непрерывного действия ($\Pi_{\text{п}}$) при однократном прохождении материала через зазор между валками определяется по формуле (6), кг/ч:

$$\Pi_{\text{п}} = 60\pi Dnh\rho b\alpha,$$

$$\Pi_{\text{п}} = 60 \cdot 3,14 \cdot 0,4 \cdot 23 \cdot 0,35 \cdot 10^{-3} \cdot 1100 \cdot 1 \cdot 0,9 = 600 \text{ кг/ч.}$$

Пример 4. Определить производительность каландра для производства пластифицированной ПВХ пленки 0,25 мм толщиной и плотностью 1320 кг/м³ на Г-образном каландре 500×1250. Ширина пленки в зазоре между валками 1150 мм, частота вращения валков 25 об/мин.

Решение

Производительность каландра (Π_k) определяется по формуле (8), кг/ч:

$$\Pi_k = 60\pi D n h_n b \rho \alpha,$$

$$\Pi_k = 60 \cdot 3,14 \cdot 0,5 \cdot 25 \cdot 0,00025 \cdot 1,15 \cdot 1320 \cdot 0,9 = 804,4 \text{ кг/ч.}$$

Пример 5. Определить производительность каландра для производства пластифицированной ПВХ пленки 0,25 мм толщиной и плотностью 1320 кг/м³ на Г-образном каландре 500×1250 с учетом фрикции 1,38. Ширина пленки в зазоре между валками 1150 мм, частота вращения валков 25 об/мин.

Решение

Производительность каландра (Π_k) с учетом фрикции определяется по формуле (9), кг/ч:

$$\Pi_k = 60V \frac{1+f}{2} F \rho \alpha,$$

$$\text{где } V = \pi D n, F = h_n b$$

$$\Pi_k = 60 \cdot 3,14 \cdot 0,5 \cdot 25 \cdot 0,00025 \cdot 1,15 \cdot 1320 \cdot 0,9 \frac{1+1,38}{2} = 957,2 \text{ кг/ч.}$$

Пример 6. Определить производительность, распорные усилия, потребляемую мощность между валками трехвалковой краскотерки по следующим исходным данным: диаметр валков 0,3225 м; длина 0,8 м; число оборотов валка, вращающегося с наибольшей скоростью, 3 об/с; соотношение чисел оборотов валков 1 : 3 : 9; вязкость пасты в зазорах между первым и вторым валками 8 Н·с/м², между вторым и третьим валками 15 Н·с/м²; величина зазора между первым и вторым валками 0,0001 м; теплоемкость пасты 2,54 Кдж/кг; плотность пасты 2000 кг/м³.

Решение

Окружная скорость валка, имеющего наибольшее число оборотов, м/с:

$$\omega = \pi D n, \quad (90)$$

где D – диаметр валков, м;

n – число оборотов, об/с.

$$\omega = 3,14 \cdot 0,3225 \cdot 3 = 3,04 \text{ м/с.}$$

Производительность краскотерки вычисляют по формуле (4):

$$P = k_n \psi \omega h_0 b \rho,$$

где $k_n = 2717$; $\psi = 0,8$; $h_0 = 0,0001$ м; $b = 0,8$ м; $\rho = 2000$ кг/м³;

$$P = 2717 \cdot 0,8 \cdot 3,04 \cdot 0,0001 \cdot 0,8 \cdot 2000 = 1057,24 \text{ кг/ч.}$$

Распорные усилия между валками P_{1-2} ; P_{2-3} находят по формуле (10), Н:

$$P_{1-2} = 0,634 \mu_{1-2} \omega \frac{R}{h_0} b,$$

$$P_{2-3} = 0,0758 \mu_{2-3} \omega \frac{R}{h_0} b,$$

где $\mu_{1-2} = 8$ Н·с/м², $\mu_{2-3} = 15$ Н·с/м²

$$P_{1-2} = 0,634 \cdot 8 \cdot 3,04 \frac{0,16125}{0,0001} 0,8 = 19890 \text{ Н,}$$

$$P_{2-3} = 0,0758 \cdot 15 \cdot 3,04 \frac{0,16125}{0,0001} 0,8 = 4459 \text{ Н.}$$

Потребляемая мощность между валками определяется по формуле (11), Вт:

$$N_0 = 1,825 \mu_{1-2} \omega^2 b \sqrt{\frac{R}{h_0} \left(1 + \frac{\mu_{2-3}}{\mu_{1-2}} \kappa_{N_2} \right)},$$

$$N_0 = 1,825 \cdot 8 \cdot 3,04^2 \cdot 0,8 \sqrt{\frac{0,16125}{0,0001} \left(1 + \frac{15}{8} 0,1812 \right)} = 5807 \text{ Вт.}$$

Таким образом, производительность машины за один пропуск пасты равна 1057,24 кг/ч; распорные усилия между валками $P_{1-2}=19890$ Н, $P_{2-3}=4459$ Н; потребляемая мощность $N_0=5807$ Вт.

Пример 7. Определить производительность, силовые и энергетические

параметры вальцов $S_m 2100 \frac{660}{660}$ при переработке пленочной композиции упаковочной на основе ПВХ. Продолжительность цикла 15 мин, плотность смеси 1395 кг/м^3 . Окружная скорость переднего валка 28 м/мин, заднего 34,2 м/мин, минимальный зазор 0,8 мм. Температура перерабатываемой композиции в зазоре между валками $160 \text{ }^\circ\text{C}$.

Решение

Исходные данные для расчета:

радиус валка $R=330 \text{ мм}$;

длина валка $L=2100 \text{ мм}$;

частота вращения переднего валка $n=13,5 \text{ об/мин}$;

угловая скорость валка $\omega = 1,41 \text{ с}^{-1}$;

фрикция $f = 1,22$;

минимальный зазор $H_0=0,8 \text{ мм}$;

относительная величина запаса $H_s/H_0=40$;

индекс течения $m=0,31$ (табл.8);

коэффициент консистенции материала $\mu=0,22 \text{ кгс}\cdot\text{с}^m/\text{см}^2$ (табл.8).

Производительность вальцов (Π_n) определяют по формуле (5), кг/ч:

$$\Pi_n = \frac{60V\rho\alpha}{\tau_{\text{ц}}},$$

где $V \approx (0,0065 \div 0,0085) DL \approx 0,0065 \cdot 66 \cdot 210 = 91 \text{ л} = 91 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$.

$$\Pi_n = \frac{60 \cdot 91 \cdot 10^{-3} \cdot 1395 \cdot 0,9}{15} = 457 \text{ кг/ч.}$$

По номограмме (рис.15, 19) определяем значение параметра B . С этой целью через соответствующие отметки на шкалах фрикции ($f = 1,22$) и числа оборотов ($n=13,5$) проводим прямую до пересечения со шкалой γ . Через полученную точку (1) и отметку на шкале R ($R=33 \text{ см}$) проводим прямую до пересечения со шкалой B и читаем полученное значение $B = 64$.

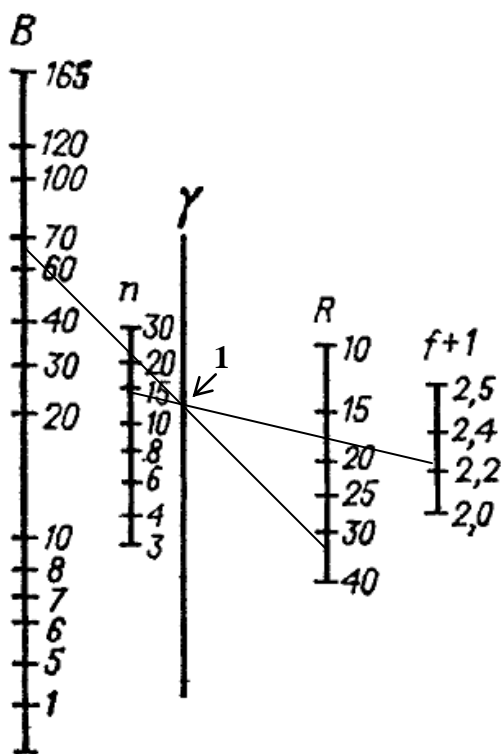


Рис. 19. Номограмма для определения параметра B

По кривым, представленным на рис. 16, по заданному значению m ($m=0,31$) и найденному значению B ($B = 64$) находим величину $B^m=3,5$.

По данным табл. 7 при известных значениях h_0 ($h_0=0,04\text{см}$) и индекса течения m ($m=0,31$) находим значение $K=22$.

По номограмме (рис. 17) через соответствующие отметки на шкалах B^m ($B^m=3,5$) и K ($K=22$) проводят прямую до пересечения с шкалой C и тем самым определяют значение параметра $C = 74$.

Рассчитаем величину параметра A по формуле (47):

$$A = C\mu\sqrt{2R} = 74 \cdot 0,22\sqrt{2 \cdot 33} = 132,3 \text{ кгс/см}^2 = 132,3 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

По табл. 10 при известных значениях $m=0,31$ и отношения $H_s/H_0=40$ определяем следующие параметры: $\frac{P_{\text{макс}}}{A} \approx 0,47$;

$$\frac{P}{AL\sqrt{2Rh_0}} \approx 0,82;$$

$$\frac{F}{ALh_0} \approx 3,2.$$

Рассчитываем по вышеуказанным формулам соответствующие величины: максимальное удельное давление $P_{\text{макс}}$ (МПа); распорное усилие между валками P (кН); суммарную силу трения F (кН).

$$P_{\text{макс}} = 132,3 \cdot 10^5 \cdot 0,47 = 63,5 \cdot 10^5 \text{ Па} = 6,35 \text{ МПа};$$

$$P = 132,3 \cdot 10^5 \cdot 2,1 \sqrt{2 \cdot 0,33 \cdot 0,04 \cdot 0,01} \cdot 0,82 = 370 \ 165 \text{ Н} = 370,2 \text{ кН} \\ (37,0 \text{ тс});$$

$$F = 132,3 \cdot 10^5 \cdot 2,1 \cdot 0,04 \cdot 0,01 \cdot 3,2 = 35 \ 562 \text{ Н} = 35,6 \text{ кН} (3,6 \text{ тс}).$$

Определяем полезную мощность N (48):

$$N = F \cdot R \cdot \omega = 35,6 \cdot 0,33 \cdot 1,41 = 16,56 \text{ кВт.}$$

Пример 8. Определить производительность, силовые и энергетические параметры каландрования пластифицированной ПВХ пленки 0,25 мм толщиной и плотностью 1350 кг/м^3 на Г-образном каландре 650×1800 . Температура перерабатываемого материала в начальном зазоре 160°C , в промежуточном 165°C и в калибрующем 170°C .

Решение

Исходные данные для расчета:

радиусы валков $R=325 \text{ мм}$;

частота вращения валков $n=8,8 \text{ об/мин}$;

ширина ленты в зазоре, мм:

начальном – 1600,

промежуточном – 1650,

калибрующем – 1700;

угловая скорость валков $\omega = 0,92 \text{ с}^{-1}$;

фрикция $f = 1$;

минимальный зазор H_0 , мм:

начальный – 1,

промежуточный – 0,7,

калибрующий – 0,4;

относительная величина запаса в зазоре H_s/H_0 :

начальном – 20,

промежуточном – 40,

калибрующем – 70;

индекс течения $m=0,2$ 1;

коэффициент консистенции материала $\mu \cdot 10^{-5}, \text{Па} \cdot \text{с}^m$ ($\mu, \text{кгс} \cdot \text{с}^m / \text{см}^2$):

при 160°C – 0,56,

165°C – 0,52,

170°C – 0,48.

Производительность каландра (Π_K) определяется по формуле (8), кг/ч:

$$\Pi_K = 60\pi D n h_n b \rho \alpha,$$

$$\Pi_K = 60 \cdot 3,14 \cdot 0,65 \cdot 8,8 \cdot 0,00025 \cdot 1,8 \cdot 1350 \cdot 0,9 = 589,2 \text{ кг/ч.}$$

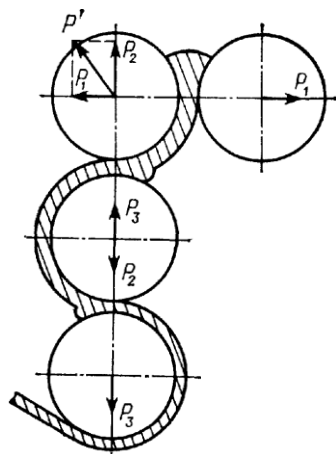


Рис. 20. Расчётная схема Г-образного каландра

Составим расчётную схему (рис. 20). Определяем максимальное удельное давление P_{\max} , распорное усилие P и суммарную силу трения F соответственно в начальном, промежуточном и калибрующем зазорах.

По номограмме (рис. 15) определяем значение параметра B . С этой целью через соответствующие отметки на шкалах фрикции ($f = 1$) и числа оборотов ($n=8,8$) проводим прямую до пересечения со шкалой γ . Через полученную

точку и отметку на шкале R ($R=32,5$ см) проводим прямую до пересечения с шкалой B и читаем полученное значение $B \approx 30$.

По кривым, представленным на рис. 16, по заданному значению m ($m=0,21$) и найденному значению B ($B \approx 30$) находим величину $B^m \approx 2,05$ для начального, промежуточного и калибрующего зазоров.

По данным табл. 9 при известных значениях h_0 ($h_0=0,05; 0,035; 0,02$ см) и индекса течения m ($m=0,21$) находим значение K :

начальный зазор $K \approx 13$,

промежуточный зазор $K \approx 18$,

калибрующий зазор $K \approx 24$.

По номограмме (рис.17) через соответствующие отметки на шкалах B^m ($B^m=2,05$) и K проводят прямую до пересечения с шкалой C , и тем самым оп-

ределяют значение этого параметра:

начальный зазор – $C \approx 28$,

промежуточный зазор - $C \approx 38$,

калибрующий зазор - $C \approx 50$.

Рассчитаем величину параметра A (МПа·с^m) по формуле (47):

$$A = C\mu\sqrt{2R} :$$

начальный зазор – $A = 28 \cdot 0,056 \sqrt{2 \cdot 32,5} = 12,65$;

промежуточный зазор – $A = 38 \cdot 0,052 \sqrt{2 \cdot 32,5} = 15,93$;

калибрующий зазор – $A = 50 \cdot 0,048 \sqrt{2 \cdot 32,5} = 19,35$.

По табл. 10 при известных значениях $m=0,31$ и отношениях H_s/H_0 оп-

ределяем следующие величины $\frac{P_{\max}}{A}$; $\frac{P}{AL\sqrt{2Rh_0}}$; $\frac{F}{ALh_0}$:

начальный зазор – $\frac{P_{\max}}{A} \approx 0,58$; $\frac{P}{AL\sqrt{2Rh_0}} \approx 0,8$; $\frac{F}{ALh_0} \approx 2,8$;

промежуточный зазор – $\frac{P_{\max}}{A} \approx 0,62$; $\frac{P}{AL\sqrt{2Rh_0}} \approx 1$; $\frac{F}{ALh_0} \approx 4$;

калибрующий зазор – $\frac{P_{\max}}{A} \approx 0,65$; $\frac{P}{AL\sqrt{2Rh_0}} \approx 1,43$; $\frac{F}{ALh_0} \approx 9,4$.

Рассчитываем по вышеуказанным формулам соответствующие величины: максимальное удельное давление P_{\max} (МПа); распорное усилие между валками P (кН); суммарную силу трения F (кН):

начальный зазор –

$$P_{\max} = 12,65 \cdot 0,58 = 7,34 \text{ МПа};$$

$$P = 12,65 \cdot 10^6 \cdot 0,8 \cdot 1,6 \sqrt{2 \cdot 32,5 \cdot 10^{-2} \cdot 0,0005} = 291\,905 \text{ Н} = 292 \text{ кН} (29,2 \text{ тс});$$

$$F = 12,65 \cdot 10^6 \cdot 1,6 \cdot 0,0005 \cdot 2,8 = 28\,336 \text{ Н} = 28,3 \text{ кН} (2,8 \text{ тс});$$

промежуточный зазор –

$$P_{\max} = 15,93 \cdot 0,62 = 9,88 \text{ МПа};$$

$$P=15,93 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 1,65 \sqrt{2 \cdot 32,5 \cdot 10^{-2} \cdot 0,00035} = 396\,452 \text{ Н} = 396 \text{ кН} (39,6 \text{ тс});$$

$$F = 15,93 \cdot 10^6 \cdot 1,65 \cdot 0,00035 \cdot 4 = 36\,798 \text{ Н} = 36,8 \text{ кН} (3,7 \text{ тс});$$

калибрующий зазор –

$$P_{\max} = 19,35 \cdot 0,65 = 12,58 \text{ МПа};$$

$$P=19,35 \cdot 10^6 \cdot 1,43 \cdot 1,70 \sqrt{2 \cdot 32,5 \cdot 10^{-2} \cdot 0,0002} = 536\,337 \text{ Н} = 536 \text{ кН} (5,4 \text{ тс});$$

$$F = 19,35 \cdot 10^6 \cdot 1,70 \cdot 0,0002 \cdot 9,4 = 61\,843 \text{ Н} = 61,8 \text{ кН} (6,2 \text{ тс}).$$

Определяем полезную мощность N , расходуемую в рабочих зазорах, кВт:

$$\text{начальный зазор} - N = FR\omega = 28,3 \cdot 0,325 \cdot 0,92 = 8,46;$$

$$\text{промежуточный зазор} - N = FR\omega = 36,8 \cdot 0,325 \cdot 0,92 = 11,00;$$

$$\text{калибрующий зазор} - N = FR\omega = 61,8 \cdot 0,325 \cdot 0,92 = 18,48.$$

Находим распределение мощности по валкам:

$$\text{валок №1 } N_1 = 8,46 \text{ кВт};$$

$$\text{валок №2 } N_2 = 8,46 + 11,00 = 19,46 \text{ кВт};$$

$$\text{валок №3 } N_3 = 11,00 + 18,48 = 29,48 \text{ кВт};$$

$$\text{валок №4 } N_4 = 18,48.$$

Контрольные задачи

1. Определить производительность, потребляемую мощность и распорные усилия между валками трехвалковой краскотерочной машины по следующим исходным данным: диаметр валков 0,45 м; длина 1 м; число оборотов валка, вращающегося с наибольшей скоростью, 2,5 об/с; соотношение чисел оборотов валков 1 : 2 : 4; вязкость пасты в зазорах между первым и вторым валками $7,36 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2$, между вторым и третьим валками $15 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2$; величина зазора между первым и вторым валками 0,0001 м; плотность пасты $2000 \text{ кг}/\text{м}^3$.

2. Определить производительность, потребляемую мощность и распорные усилия трехвалковой краскотерочной машины по следующим исходным данным: диаметр валков 0,3 м; длина 0,8 м; число оборотов быстроходного

валка 3 об/с; соотношение чисел оборотов валков 1 : 2 : 4; вязкость пасты в зазорах между первым и вторым валками $7,12 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2$, между вторым и третьим валками $14 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2$; величина зазора между первым и вторым валками 0,0001 м; плотность пасты $1500 \text{ кг}/\text{м}^3$.

3. Определить производительность, потребляемую мощность и распорные усилия трехвалковой краскотерочной машины по следующим исходным данным: диаметр валков 0,32 м; длина 0,8 м; число оборотов валка, вращающегося с наибольшей скоростью, 5 об/с; соотношение чисел оборотов валков 1 : 2 : 4; вязкость пасты в зазорах между первым и вторым валками $8,15 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2$; между вторым и третьим валками $16 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2$; величина зазора между первым и вторым валками 0,00015 м; плотность пасты $1400 \text{ кг}/\text{м}^3$.

4. Определить производительность, потребляемую мощность и распорные усилия трехвалковой краскотерочной машины по следующим исходным данным: диаметр валков 0,3 м; длина 0,8 м; число оборотов валка, вращающегося с наибольшей скоростью, 2,5 об/с; соотношение чисел оборотов валков 1 : 3 : 9; вязкость пасты в зазорах между первым и вторым валками $8,15 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2$; между вторым и третьим валками $16 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2$; величина зазора между первым и вторым валками 0,00015 м; плотность пасты $1400 \text{ кг}/\text{м}^3$.

5. Определить производительность, потребляемую мощность и распорные усилия трехвалковой краскотерочной машины по следующим исходным данным: диаметр валков 0,4 м; длина рабочей части валка 0,85 м; число оборотов валка, вращающегося с наибольшей скоростью, 3 об/с; соотношение чисел оборотов валков 1 : 3 : 9; вязкость пасты в зазорах между первым и вторым валками $7,15 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2$; между вторым и третьим валками $14 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2$; величина зазора между первым и вторым валками 0,0001 м; плотность пасты $1500 \text{ кг}/\text{м}^3$.

6. Определить производительность, потребляемую мощность и распорные усилия трехвалковой краскотерочной машины по следующим исходным данным: диаметр валков 0,4 м; длина рабочей части валка 0,9 м; число оборо-

тов валка, вращающегося с наибольшей скоростью, 2,5 об/с; соотношение чисел оборотов валков 1 : 2 : 4; вязкость пасты в зазорах между первым и вторым валками 8,16 Н·с/м²; между вторым и третьим валками 16 Н·с/м²; величина зазора между первым и вторым валками 0,0001 м; плотность пасты 1400 кг/м³.

7. Определить производительность, потребляемую мощность и распорные усилия трехвалковой краскотерочной машины по следующим исходным данным: диаметр валков 0,4 м; длина рабочей части валка 0,8 м; число оборотов валка, вращающегося с наибольшей скоростью, 3 об/с; соотношение чисел оборотов валков 1 : 3 : 9; вязкость пасты в зазорах между первым и вторым валками 8,12 Н·с/м²; между вторым и третьим валками 16 Н·с/м²; величина зазора между первым и вторым валками 0,0001 м; плотность пасты 1400 кг/м³.

8. Определить производительность вальцов СМ-2100 $\frac{660}{660}$ для изготовления резиновых смесей. Время цикла 25 мин, плотность резиновой смеси 1340 кг/м³.

9. Рассчитать распорные усилия и полезную мощность при пластикации каучука СКС-30 на вальцах СМ-1200 $\frac{450}{450}$. Зазор между валками 1,8 мм, пластичность каучука по Карреру 0,3, плотность 1300 кг/м³.

10. Рассчитать распорные усилия и полезную мощность при пластикации каучука СКН-40 на вальцах СМ-1000 $\frac{400}{400}$. Зазор между валками 2 мм, пластичность каучука по Карреру 0,1, плотность 1140 кг/м³.

11. Рассчитать распорные усилия и полезную мощность при пластикации каучука СКН-26 на вальцах СМ-2100 $\frac{660}{660}$. Зазор между валками 2 мм, пластичность каучука по Карреру 0,1, плотность 986 кг/м³.

12. Рассчитать распорные усилия и полезную мощность при пластикации каучука СКС-10 на вальцах СМ-1500 $\frac{660}{660}$. Зазор между валками 3 мм,

пластичность каучука по Карреру 0,25, плотность 1310 кг/м³.

13. Определить производительность вальцов СМ-800 $\frac{550}{550}$ для изготовления резиновой смеси. Время цикла 31 мин, плотность резиновой смеси 1330 кг/м³.

14. Определить производительность вальцов СМ-1500 $\frac{660}{660}$ для изготовления резиновой смеси. Время цикла 25 мин, плотность резиновой смеси 1395 кг/м³.

15. Определить производительность вальцов СМ-700 $\frac{300}{300}$ для изготовления резиновой смеси. Время цикла 26 мин, плотность резиновой смеси 1235 кг/м³.

16. Определить производительность вальцов СМ-1200 $\frac{450}{450}$ для изготовления резиновой смеси. Время цикла 25 мин, плотность резиновой смеси 1280 кг/м³.

17. Определить производительность вальцов СМ-1000 $\frac{400}{400}$ для изготовления резиновой смеси. Время цикла 28 мин, плотность резиновой смеси 1350 кг/м³.

18. Определить производительность вальцов ПД-1500 $\frac{660}{660}$ для разогрева резиновой смеси. Продолжительность разогрева смеси 1 мин, введения порообразователей 2 мин, введения серы 3 мин, разогрев обрезков со смесью 2 мин. Плотность резиновой смеси 1205 кг/м³.

19. Определить производительность вальцов ПД-1500 $\frac{550}{550}$ для разогрева резиновой смеси. Продолжительность разогрева смеси 2 мин, введения порообразователей 3 мин, введения серы 3 мин, разогрев обрезков со смесью

2 мин. Плотность резиновой смеси 1275 кг/м^3 .

20. Определить производительность вальцов Пд-2100 $\frac{660}{660}$ для разогрева резиновой смеси. Продолжительность цикла разогрева смеси, введения серы и обрезков 9 мин. Плотность резиновой смеси 1235 кг/м^3 .

21. Определить количество и производительность подогревательных вальцов, если единовременная загрузка составляет 150 кг. Время вальцевания 20 мин. Необходимо переработать 1000 кг смеси в час.

22. Определить количество и производительность смесительных вальцов, если единовременная загрузка составляет 120 кг. Время вальцевания 25 мин. Необходимо переработать 1000 кг смеси в час.

23. Определить количество и производительность листовальных вальцов, если единовременная загрузка составляет 110 кг. Время вальцевания 10 мин. Необходимо переработать 1300 кг смеси в час.

24. Определить количество и производительность подогревательных вальцов для переработки 2200 кг/ч , если диаметр переднего валка 40 см, ширина ленты 100 см, плотность ленты 1230 кг/см^3 , время вальцевания 33 мин.

25. Определить количество и производительность подогревательных вальцов для переработки 1200 кг/ч , если диаметр переднего валка 66 см, ширина ленты 210 см, плотность ленты 1330 кг/см^3 , время вальцевания 25 мин.

26. Определить количество и производительность смесительных вальцов для переработки 1500 кг/ч , если диаметр переднего валка 55 см, ширина ленты 80 см, плотность ленты 1250 кг/см^3 , время вальцевания 15 мин.

27. Определить количество и производительность листовальных вальцов, если диаметр переднего валка 45 см, ширина ленты 120 см, плотность ленты 1100 кг/м^3 , время вальцевания 10 мин. Необходимо переработать 1100 кг смеси в час.

28. Рассчитать производительность вальцов непрерывного действия с однократным прохождением материала между валками при следующих условиях: диаметр заднего валка 40 см; частота вращения валков 35 мин^{-1} ; ши-

рина ленты материала, снимаемого с валка, 100 см; толщина ленты материала, выходящего из зазора, 0,50 мм; плотность материала 1150 кг/м³; коэффициент использования машинного времени 0,9.

29. Рассчитать производительность вальцов непрерывного действия с однократным прохождением материала между вальками при следующих условиях: диаметр заднего валка 55 см; частота вращения валков 15 мин⁻¹; ширина ленты материала, снимаемого с валка, 210 см; толщина ленты материала, выходящего из зазора, 2 мм; плотность материала 1240 кг/м³; коэффициент использования машинного времени 0,85.

30. Определить производительность вальцов СМ-1500 $\frac{660}{660}$ для изготовления резиновых смесей. Продолжительность пластикации каучука 11 мин, введение ускорителей, красителей, части наполнителей и мягчителей 2 мин, белил цинковых и стеарина 2 мин, остальной части наполнителей и мягчителей 3 мин; серы 3 мин. Продолжительность смешения при четырех подрезках 4 мин. Плотность резиновой смеси 1,32 г/см³.

31. Определить производительность, силовые и энергетические параметры вальцов СМ-800 $\frac{550}{550}$ при переработке пленочной композиции упаковочной на основе ПВХ. Продолжительность цикла 18 мин, плотность смеси 1195 кг/м³. Окружная скорость переднего валка 33 м/мин, заднего 36,3 м/мин, минимальный зазор 0,5 мм. Температура перерабатываемой композиции в зазоре между вальками 150 °С.

32. Определить производительность, силовые и энергетические параметры вальцов СМ-1500 $\frac{660}{660}$ при переработке пленочной композиции упаковочной на основе ПВХ. Продолжительность цикла 20 мин, плотность смеси 1245 кг/м³. Окружная скорость переднего валка 32,6 м/мин, заднего 34,9 м/мин, минимальный зазор 0,5 мм. Температура перерабатываемой композиции в зазоре между вальками 155 °С.

33. Определить производительность, силовые и энергетические параметры вальцов СМ-2100 $\frac{660}{650}$ при переработке пленочной композиции упаковочной на основе ПВХ. Продолжительность цикла 22 мин, плотность смеси 1145 кг/м³. Окружная скорость переднего вала 27 м/мин, заднего 31,6 м/мин, минимальный зазор 0,8 мм. Температура перерабатываемой композиции в зазоре между валами 150 °С.

34. Определить производительность, силовые и энергетические параметры вальцов СМ-700 $\frac{300}{300}$ при переработке пленочной композиции упаковочной на основе ПВХ. Продолжительность цикла 15 мин, плотность смеси 1125 кг/м³. Окружная скорость переднего вала 16,2 м/мин, заднего 17,0 м/мин, минимальный зазор 0,5 мм. Температура перерабатываемой композиции в зазоре между валами 145 °С.

35. Определить производительность, силовые и энергетические параметры вальцов ВП-800 $\frac{550}{550}$ при переработке пленочной композиции светотехнической на основе ПВХ. Продолжительность цикла 8 мин, плотность смеси 1225 кг/м³. Окружная скорость переднего вала 31,3 м/мин, заднего 36,6 м/мин, минимальный зазор 1 мм. Температура перерабатываемой композиции в зазоре между валами 165 °С.

36. Определить производительность, силовые и энергетические параметры вальцов ВП-1500 $\frac{660}{660}$ при переработке пленочной композиции медицинской на основе ПВХ. Продолжительность цикла 7 мин, плотность смеси 1185 кг/м³. Окружная скорость переднего вала 30,4 м/мин, заднего 34,6 м/мин, минимальный зазор 1 мм. Температура перерабатываемой композиции в зазоре между валами 145 °С.

37. Определить производительность, силовые и энергетические параметры вальцов ВП-2100 $\frac{660}{660}$ при переработке пленочной композиции светотехнической на основе ПВХ. Продолжительность цикла 8 мин, плотность смеси 1225 кг/м³. Окружная скорость переднего вала 31,3 м/мин, заднего 36,6 м/мин, минимальный зазор 1 мм. Температура перерабатываемой композиции в зазоре между валами 165 °С.

технической на основе ПВХ. Продолжительность цикла 6 мин, плотность смеси 1025 кг/м^3 . Окружная скорость переднего вала 30,4 м/мин, заднего 34,6 м/мин, минимальный зазор 1,2 мм. Температура перерабатываемой композиции в зазоре между валами $165 \text{ }^\circ\text{C}$.

38. Определить производительность, силовые и энергетические параметры вальцов ВП-1500 $\frac{550}{550}$ при переработке пленочной композиции медицинской на основе ПВХ. Продолжительность цикла 6 мин, плотность смеси 1175 кг/м^3 . Окружная скорость переднего вала 29 м/мин, заднего 36,8 м/мин, минимальный зазор 1 мм. Температура перерабатываемой композиции в зазоре между валами $145 \text{ }^\circ\text{C}$.

39. Определить производительность, силовые и энергетические параметры вальцов См-1000 $\frac{400}{400}$ при переработке пленочной композиции галантерейной на основе ПВХ. Продолжительность цикла 5 мин, плотность смеси 1200 кг/м^3 . Окружная скорость переднего вала 21,5 м/мин, заднего 22,6 м/мин, минимальный зазор 1 мм. Температура перерабатываемой композиции в зазоре между валами $170 \text{ }^\circ\text{C}$.

40. Определить производительность, силовые и энергетические параметры вальцов См-1200 $\frac{450}{450}$ при переработке пленочной композиции галантерейной на основе ПВХ. Продолжительность цикла 8 мин, плотность смеси 1120 кг/м^3 . Окружная скорость переднего вала 24,2 м/мин, заднего 25,4 м/мин, минимальный зазор 1 мм. Температура перерабатываемой композиции в зазоре между валами $170 \text{ }^\circ\text{C}$.

41. Определить производительность, силовые и энергетические параметры вальцов Пд-1800 $\frac{660}{660}$ при производстве пластика листового на основе ПВХ-С66. Продолжительность цикла 5 мин, плотность смеси 1230 кг/м^3 . Окружная скорость переднего вала 25,1 м/мин, заднего 33,9 м/мин, мини-

мальный зазор 2 мм. Температура перерабатываемой композиции в зазоре между валками 140 °С.

42. Определить производительность, силовые и энергетические параметры вальцов Пд-1500 $\frac{660}{660}$ при производстве пластика прокладочного на основе ПВХ-С63М. Продолжительность цикла 8 мин, плотность смеси 1310 кг/м³. Окружная скорость переднего валка 27 м/мин, заднего 34,6 м/мин, минимальный зазор 0,5 мм. Температура перерабатываемой композиции в зазоре между валками 145 °С.

43. Определить производительность, силовые и энергетические параметры вальцов Пд-1000 $\frac{400}{400}$ при производстве пластика рулонного на основе ПВХ-С58. Продолжительность цикла 10 мин, плотность смеси 1350 кг/м³. Окружная скорость переднего валка 16 м/мин, заднего 20 м/мин, минимальный зазор 0,8 мм. Температура перерабатываемой композиции в зазоре между валками 140 °С.

44. Определить производительность каландра при получении искусственной кожи на основе ПВХ, если скорость выхода ленты из каландра 31 м/мин, при площади поперечного сечения ленты в зазоре между валками $4,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$, плотности ленты 1290 кг/м³ и $\phi = 0,85$.

45. Определить производительность каландра при получении искусственной кожи на основе ПВХ, если скорость выхода ленты из каландра 39 м/мин, при площади поперечного сечения ленты в зазоре между валками $4,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$, плотности ленты 1190 кг/м³ и $\phi = 0,9$.

46. Определить производительность каландра при получении рулонного пластика на основе ПВХ-С58, если скорость выхода ленты из каландра 35 м/мин, при площади поперечного сечения ленты в зазоре между валками $4,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$, плотности ленты 1350 кг/м³ и $\phi = 0,85$.

47. Определить производительность каландра при получении прокладочного пластика на основе ПВХ-С63М, если скорость выхода ленты из

каландра 25 м/мин при площади поперечного сечения ленты в зазоре между валками $5,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$, плотности ленты 1250 кг/м^3 и $\varphi = 0,85$.

48. Определить производительность каландра при получении галантерейной пленки на основе ПВХ-С70, если скорость выхода ленты из каландра 30 м/мин при площади поперечного сечения ленты в зазоре между валками $4,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$, плотности ленты 1200 кг/м^3 и $\varphi = 0,85$.

49. Определить производительность каландра при получении искусственной кожи на основе ПВХ с учетом фрикции 1,3, если скорость выхода ленты из каландра 31 м/мин при площади поперечного сечения ленты в зазоре между валками $4,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$, плотности ленты 1290 кг/м^3 и $\varphi = 0,85$.

50. Определить производительность каландра при получении искусственной кожи на основе ПВХ с учетом фрикции 1,28, если скорость выхода ленты из каландра 39 м/мин при площади поперечного сечения ленты в зазоре между валками $4,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$, плотности ленты 1190 кг/м^3 и $\varphi = 0,9$.

51. Определить производительность каландра при получении рулонного пластиката на основе ПВХ-С58 с учетом фрикции 1,17, если скорость выхода ленты из каландра 35 м/мин при площади поперечного сечения ленты в зазоре между валками $4,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$, плотности ленты 1350 кг/м^3 и $\varphi = 0,85$.

52. Определить производительность каландра при получении прокладочного пластиката на основе ПВХ-С63М с учетом фрикции 1,2, если скорость выхода ленты из каландра 25 м/мин при площади поперечного сечения ленты в зазоре между валками $5,0 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$, плотности ленты 1250 кг/м^3 и $\varphi = 0,85$.

53. Определить производительность каландра при получении галантерейной пленки на основе ПВХ-С70 с учетом фрикции 1,37, если скорость выхода ленты из каландра 30 м/мин при площади поперечного сечения ленты в зазоре между валками $4,4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$, плотности ленты 1200 кг/м^3 и $\varphi = 0,85$.

54. Рассчитать производительность каландра 5-200-630 при переработке резиновых смесей. Ширина листа в калибрующем зазоре 50 см, линейная скорость валков 12 м/мин, фрикция 1,06, конечная толщина листа 1 мм,

плотность резиновой смеси 1320 кг/м^3 .

55. Рассчитать производительность каландра 5-450-1200 при переработке резиновых смесей. Ширина листа в калибрующем зазоре 110 см, линейная скорость валков 20 м/мин, фрикция 1,06, конечная толщина листа 3 мм, плотность резиновой смеси 1220 кг/м^3 .

56. Найти производительность каландра 4-500-1250Г при переработке резиновых смесей. Ширина листа в калибрующем зазоре 115 см, линейная скорость валков 18 м/мин, фрикция 1,38, конечная толщина листа 2,5 мм, плотность смеси 1310 кг/м^3 .

57. Найти производительность каландра 4-350-800 при переработке пленочной композиции. Ширина листа в калибрующем зазоре 70 см, линейная скорость валков 25 м/мин, фрикция 1,04, конечная толщина листа 1,5 мм, плотность смеси 1140 кг/м^3 .

58. Найти производительность каландра 4-200-600 при переработке пленочной композиции. Ширина листа в калибрующем зазоре 50 см, линейная скорость валков 15 м/мин, фрикция 1,06, конечная толщина листа 2 мм, плотность смеси 1180 кг/м^3 .

59. Найти производительность каландра 4-250-550 при переработке галантерейной пленки. Ширина листа в калибрующем зазоре 45 см, линейная скорость валков 10 м/мин, фрикция 1,5, конечная толщина листа 1,5 мм, плотность смеси 1240 кг/м^3 .

60. Найти производительность каландра 4-610-1730Г при переработке резинотехнических изделий. Ширина листа в калибрующем зазоре 160 см, линейная скорость валков 35 м/мин, фрикция 1,4, конечная толщина листа 3 мм, плотность смеси 1400 кг/м^3 .

61. Найти производительность каландра 3-350-1250 при переработке резинотехнических изделий. Ширина листа в калибрующем зазоре 115 см, линейная скорость валков 15 м/мин, фрикция 1,2, конечная толщина листа 2,5 мм, плотность смеси 1310 кг/м^3 .

62. Найти производительность каландра 3-250-650 при переработке резиновой смеси. Ширина листа в калибрующем зазоре 55 см, линейная скорость валков 20 м/мин, фрикция 1,1, конечная толщина листа 2 мм, плотность смеси 1210 кг/м³.

63. Определить производительность, силовые и энергетические параметры в калибрующем зазоре каландра при листовании резиновых смесей на основе каучука СКН-40 при следующих исходных данных: тип каландра 4-710-1800, $T=85^{\circ}\text{C}$, величина зазора 2,5 мм, относительная величина запаса $H/H_0=40$, ширина листа 1700 мм, линейная скорость валка 30 м/мин, фрикция 1,1, плотность смеси 1210 кг/м³.

64. Определить производительность, силовые и энергетические параметры в калибрующем зазоре каландра при листовании резиновых смесей на основе каучука СКН-40 при следующих исходных данных: тип каландра 4-300-700, $T=91^{\circ}\text{C}$, величина зазора 2,2 мм, относительная величина запаса $H/H_0=40$, ширина листа 600 мм, линейная скорость валка 28 м/мин, фрикция 1,03, плотность смеси 1300 кг/м³.

65. Определить производительность, силовые и энергетические параметры в калибрующем зазоре каландра при листовании резиновых смесей на основе каучука СКИ-3 при следующих исходных данных: тип каландра 4-710-1800, $T=85^{\circ}\text{C}$, величина зазора 3 мм, относительная величина запаса $H/H_0=30$, ширина листа 1700 мм, линейная скорость валка 50 м/мин, фрикция 1,2, плотность смеси 1200 кг/м³.

66. Определить производительность, силовые и энергетические параметры в калибрующем зазоре каландра при листовании резиновых смесей на основе каучука СКС-30 при следующих исходных данных: тип каландра 3-710-1800, $T=85^{\circ}\text{C}$, величина зазора 2 мм, относительная величина запаса $H/H_0=40$, ширина листа 1700 мм, линейная скорость валка 40 м/мин, фрикция 1, плотность смеси 1280 кг/м³.

67. Определить производительность, силовые и энергетические парамет-

ры в калибрующем зазоре каландра при листовании резиновых смесей на основе каучука СКС-30 при следующих исходных данных: тип каландра 4-500-1250, $T=80^{\circ}\text{C}$, величина зазора 2,5 мм, относительная величина запаса $H/H_0=30$, ширина листа 1100 мм, линейная скорость валка 40 м/мин, фрикция 1,3, плотность смеси 1290 кг/м^3 .

68. Определить производительность, силовые и энергетические параметры в калибрующем зазоре каландра при листовании резиновых смесей на основе каучука СКН-26 при следующих исходных данных: тип каландра 4-500-1250, $T=80^{\circ}\text{C}$, величина зазора 2,5 мм, относительная величина запаса $H/H_0=25$, ширина листа 1100 мм, линейная скорость валка 25 м/мин, фрикция 1, плотность смеси 1200 кг/м^3 .

69. Определить производительность, силовые и энергетические параметры в калибрующем зазоре каландра при листовании резиновых смесей на основе каучука СКС-10 при следующих исходных данных: тип каландра 3-500-1250, $T=80^{\circ}\text{C}$, величина зазора 2,0 мм, относительная величина запаса $H/H_0=30$, ширина листа 1100 мм, линейная скорость валка 20 м/мин, фрикция 1,2, плотность смеси 1200 кг/м^3 .

70. Определить производительность, силовые и энергетические параметры в калибрующем зазоре каландра при листовании резиновых смесей на основе каучука СКН-40 при следующих исходных данных: тип каландра 5-200-600, $T=80^{\circ}\text{C}$, величина зазора 1,5 мм, относительная величина запаса $H/H_0=30$, ширина листа 500 мм, линейная скорость валка 10 м/мин, фрикция 1,1, плотность смеси 1330 кг/м^3 .

71. Определить производительность, силовые и энергетические параметры в калибрующем зазоре каландра при листовании резиновых смесей на основе каучука СКН-26 при следующих исходных данных: тип каландра 4-700-1800, $T=90^{\circ}\text{C}$, величина зазора 3,5 мм, относительная величина запаса $H/H_0=60$, ширина листа 1700 мм, линейная скорость валка 45 м/мин, фрикция 1,2, плотность смеси 1205 кг/м^3 .

2.4.2. Примеры тепловых расчетов вальцов и каландра

Пример 9. Составить тепловой баланс вальцов $S_m 800 \frac{550}{550}$ для смешения резиновой смеси.

Исходные данные для расчета:

продолжительность цикла вальцевания $\tau = 10$ мин;

количество материала, поступающего на вальцы (из материального баланса) 500 кг/ч;

удельная теплоемкость смеси $c=1,67$ кДж/(кг·град);

температура смеси (начальная и конечная) $T_n=120^\circ\text{C}$, $T_k=150^\circ\text{C}$;

температура стенки валка $t_g=100^\circ\text{C}$;

температура окружающего воздуха $t_{o,c}=20^\circ\text{C}$;

общий коэффициент излучения для валков $C=2,3 \cdot 10^{-3}$ кВт/($\text{м}^2 \cdot \text{К}$);

диаметр валка $D=2R=2 \cdot 275=550$ мм;

длина валка $L=800$ мм;

фрикция $f = 1,02$;

частота вращения переднего валка $n=18,8$ об/мин;

угловая скорость вращения валка $\omega=1,97$ с^{-1} ;

минимальный зазор $H_0=2h_0=2 \cdot 0,4=0,8$ мм;

относительная величина запаса $H_s/H_0=40$ мм;

реологические параметры перерабатываемого материала: $m=0,24$ и $\mu=0,578$ кгс·с^m/см².

Решение

Согласно предыдущим примерам по номограмме определяем значение параметра B (рис. 15). Получаем $B=70$.

По кривым (рис. 16), заданному значению $m=0,24$ и найденному значению B ($B=70$) находим величину $B_m=2,9$.

По данным табл. 9 при известных значениях h_0 ($h_0=0,04$ см) и индекса

течения m ($m=0,24$) находим значение $K=17$.

По номограмме (рис. 19) определяем значение параметра C . Получаем $C=50$.

Величину параметра A находим по формуле (47):

$$A = C\mu\sqrt{2R} = 50 \cdot 0,578\sqrt{2 \cdot 27,5} = 214,3 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

По табл. 10 при известных значениях $m=0,24$ и отношения $H_s/H_0=40$ определяем следующие параметры: $\frac{P_{\max}}{A} \approx 0,54$;

$$\frac{P}{AL\sqrt{2Rh_0}} \approx 0,91;$$

$$\frac{F}{ALh_0} \approx 3,62.$$

Рассчитываем максимальное удельное давление P_{\max} (МПа); распорное усилие между валками P (кН); суммарную силу трения F (кН) по вышеуказанным формулам:

$$P_{\max} = 214,3 \cdot 10^5 \cdot 0,54 = 115,7 \cdot 10^5 \text{ Па} = 11,57 \text{ МПа};$$

$$P = 214,3 \cdot 10^5 \cdot 0,8 \sqrt{2 \cdot 0,275 \cdot 0,04 \cdot 0,01} \cdot 0,91 = 231401 \text{ Н} = 231,4 \text{ кН};$$

$$F = 214,3 \cdot 10^5 \cdot 0,8 \cdot 0,04 \cdot 0,01 \cdot 3,62 = 24825 \text{ Н} = 24,8 \text{ кН}.$$

Определяем полезную мощность N (48), кВт:

$$N = F R \omega = 24,8 \cdot 0,275 \cdot 1,97 = 13,44 \text{ кВт}.$$

Согласно методике теплового расчета:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3,$$

рассчитываем Q - тепло, выделяющееся при работе вальцов за цикл, кДж/цикл, по полезной мощности N ;

Величина тепловыделения Q , соответственно, равна:

$$Q = N\tau;$$

$$Q = 13,44 \cdot 600 = 8064 \text{ кДж/цикл};$$

$$Q_1 = Gc(T_k - T_n),$$

где G – количество материала, удаляемого с вальцов (из материального ба-

ланса), кг/ч – 500 (0,14 кг/с);

c – удельная теплоемкость перерабатываемого материала, кДж/кг·град;

T_n, T_k – температура смеси (начальная и конечная), °С.

$$Q_1 = Gc(T_k - T_n),$$

$$Q_1 = 0,14 \cdot 1,67 (150 - 120) 600 = 6,96 \text{ кВт } 4176 \text{ кДж/цикл};$$

Тепло, отдаваемое валками в окружающую среду, Q_2 складывается из тепла, отдаваемого конвекцией Q_k и лучеиспусканием Q_l :

$$Q_2 = Q_k + Q_l,$$

где $Q_k = \alpha_k F (t_v - t_{o.c.}) \cdot \tau$,

для неподвижного воздуха,

$$\alpha_k = 1,18 \cdot 10^{-3} \sqrt[4]{\frac{(t_v - t_{o.c.})}{D}} = 1,18 \cdot 10^{-3} \sqrt[4]{\frac{(100 - 20)}{0,55}} = 4,1 \cdot 10^{-3} \text{ кВт/(м}^2\text{/град)}.$$

Суммарная поверхность валков машины F_2 , м²:

$$F_2 = 2\pi DL,$$

где L – длина рабочей части валка, м.

$$F_2 = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,55 \cdot 0,8 = 2,8 \text{ м}^2.$$

$$F_1 = \frac{F \alpha}{360n}, \text{ м}^2,$$

где n – число валков вальцов;

$$F_1 = \frac{2,8 \cdot 320}{360 \cdot 2} = 1,24, \text{ м}^2,$$

F – поверхность открытой части валков, $F = F_2 - F_1$, м²;

$$F = 2,8 - 1,24 = 1,56 \text{ м}^2.$$

$$Q_k = 4,10 \cdot 10^{-3} \cdot 1,56 (100 - 20) 600 = 0,51 \text{ кВт } 306 \text{ кДж/цикл}.$$

$$Q_l = FC \left[\left(\frac{T_v}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{o.c.}}{100} \right)^4 \right] \tau,$$

$$C = 2,3 \cdot 10^{-3} \text{ кВт/(м}^2\text{·К)};$$

T_v – температура валка, К;

$T_{o.c.}$ – температура окружающего воздуха, К.

$$Q_1 = 1,56 \cdot 2,3 \cdot 10^{-3} \left[\left(\frac{100 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{20 + 273}{100} \right)^4 \right] 600 = 258 \text{ кДж/цикл},$$

$$Q_2 = 306 + 258 = 564 \text{ кДж/цикл}.$$

Тепло, уносимое охлаждающей водой:

$$Q_3 = Q - Q_1 - Q_2;$$

$$Q_3 = Wc\Delta t;$$

$$Q_3 = 8064 - 4176 - 564 = 3324 \text{ кДж/цикл}$$

Расход охлаждающей воды W , кг:

$$W = \frac{Q - Q_1 - Q_2}{c\Delta t}.$$

$$W = \frac{3324}{1,16 \cdot 3} = 955 \text{ кг/цикл} = 1,6 \text{ кг/с} = 5731 \text{ кг/ч}.$$

На охлаждение переднего валка, на котором находится материал, расходуется 4298,25 кг/ч (75% W), на охлаждение заднего 1432,75 кг/ч.

Пример 10. Составить тепловой баланс Г-образного каландра 4-500-1250 для листования резиновой смеси.

Исходные данные для расчета – реологические параметры смеси:

начальный зазор $m = 0,2$; $\mu = 0,08 \text{ МПа}\cdot\text{с}^m$ при $T = 70 \text{ }^\circ\text{C}$;

промежуточный зазор $m = 0,2$; $\mu = 0,07 \text{ МПа}\cdot\text{с}^m$ при $T = 80 \text{ }^\circ\text{C}$;

калибрующий зазор $m = 0,2$; $\mu = 0,06 \text{ МПа}\cdot\text{с}^m$ при $T = 85 \text{ }^\circ\text{C}$;

скорость валков – 10 об/мин,

фрикция $f = 1$;

зазоры между валками $H_0 = 4, 3$ и 2 мм соответственно;

рабочие длины 800, 950, 1100 мм;

относительные величины запаса $H_s/H_0 = 20, 40, 60$;

плотность смеси 1350 кг/м^3 ;

производительность каландра (из материального баланса) 3147, 3 кг/ч;

начальная температура резиновой смеси $T_M = 60 \text{ }^\circ\text{C}$;

температура поверхности валков $T_{ст} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$;

температура перерабатываемой смеси $80 \text{ }^\circ\text{C}$;

удельная теплоёмкость смеси $c = 1,67 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{K})$;

Решение

Аналогично предыдущему примеру по номограмме определяем величину \mathbf{B} . Получаем для всех зазоров $\mathbf{B} = 27$.

Находим \mathbf{B}^m по графику (рис. 16) при $m = 0,2$ $\mathbf{B}^m = 27^{0,2} = 1,93$.

По табл. 9 принимаем значения коэффициента \mathbf{K} при $h_0 = H_0/2$ и $m = 0,2$:

начальный зазор $\mathbf{K} = 4,55$;

промежуточный зазор $\mathbf{K} = 5,5$;

калибрующий зазор $\mathbf{K} = 7,39$.

По номограмме определяем параметр \mathbf{C} :

начальный зазор $\mathbf{C} = 9,0$;

промежуточный зазор $\mathbf{C} = 11,0$;

калибрующий зазор $\mathbf{C} = 15,0$.

Рассчитаем \mathbf{A} (МПа·с^m) по формуле (47) $\mathbf{A} = \mathbf{C}\mu\sqrt{2R}$:

начальный зазор $\mathbf{A} = 9 \cdot 0,08 \sqrt{2 \cdot 25} = 5,08$;

промежуточный зазор $\mathbf{A} = 11 \cdot 0,07 \sqrt{2 \cdot 25} = 5,45$;

калибрующий зазор $\mathbf{A} = 15 \cdot 0,06 \sqrt{2 \cdot 25} = 5,65$.

По данным табл. 10 определяем следующие величины $\frac{P_{\text{макс}}}{A}$;

$$\frac{P}{AL\sqrt{2Rh_0}}; \frac{F}{ALh_0}:$$

начальный зазор $\frac{P_{\text{макс}}}{A} \approx 0,59$; $\frac{P}{AL\sqrt{2Rh_0}} \approx 0,82$; $\frac{F}{ALh_0} \approx 2,96$;

промежуточный зазор $\frac{P_{\text{макс}}}{A} \approx 0,62$; $\frac{P}{AL\sqrt{2Rh_0}} \approx 1,03$; $\frac{F}{ALh_0} \approx 4,1$;

калибрующий зазор $\frac{P_{\max}}{A} \approx 0,65$; $\frac{P}{AL\sqrt{2Rh_0}} \approx 1,42$; $\frac{F}{ALh_0} \approx 8,23$.

Рассчитываем максимальное удельное давление P_{\max} (МПа):

начальный зазор $P_{\max} = 5,08 \cdot 0,59 = 3,0$;

промежуточный зазор $P_{\max} = 5,45 \cdot 0,62 = 3,4$;

калибрующий зазор $P_{\max} = 5,65 \cdot 0,65 = 3,7$.

Определяем распорное усилие P (кН):

начальный зазор $P_1 = 0,82 \cdot 5,08 \cdot 100 \cdot 80 \sqrt{50 \cdot 0,02} = 105$;

промежуточный зазор $P_2 = 1,03 \cdot 5,45 \cdot 100 \cdot 90 \sqrt{50 \cdot 0,015} = 146$;

калибрующий зазор $P_3 = 1,42 \cdot 5,65 \cdot 100 \cdot 110 \sqrt{50 \cdot 0,01} = 197,3$.

Усилие, действующее на второй валок, кН:

$$P'' = \sqrt{105^2 + 146^2} = 179,8.$$

Рассчитаем силы трения F , кН:

начальный зазор $F_1 = 2,96 \cdot 5,08 \cdot 100 \cdot 80 \cdot 0,2 = 24$;

промежуточный зазор $F_2 = 4,1 \cdot 5,45 \cdot 100 \cdot 95 \cdot 0,15 = 31,8$;

калибрующий зазор $F_3 = 8,23 \cdot 5,65 \cdot 100 \cdot 110 \cdot 0,1 = 51,1$.

Рассчитываем момент сопротивления M , кН · м:

начальный зазор $M_1 = 24 \cdot 0,25 = 6$;

промежуточный зазор $M_2 = 31,8 \cdot 0,25 = 7,95$;

калибрующий зазор $M_3 = 51,1 \cdot 0,25 = 12,77$.

Определяем полезную мощность N , расходуемую в рабочих зазорах, кВт:

начальный зазор $N = FR\omega = 6 \cdot 3,14 \cdot 10 / (30 \cdot 1,02) = 6,15$;

промежуточный зазор $N = FR\omega = 7,95 \cdot 3,14 \cdot 10 / (30 \cdot 1,02) = 8,16$;

калибрующий зазор $N = FR\omega = 12,77 \cdot 3,14 \cdot 10 / (30 \cdot 1,02) = 13,1$.

Находим распределение мощности по валкам:

валок №1 $N_1 = 6,15$ кВт;

валок №2 $N_2 = 6,15 + 8,16 = 14,31$ кВт;

валок №3 $N_3 = 8,16 + 13,1 = 21,26$ кВт;

валок №4 $N_4 = 13,1$.

Общая мощность будет равна $N_{cp} = 6,15 + 8,16 + 13,1 = 27,41$ кВт.

Согласно методике теплового расчета:

$$Q_N + Q_{n.мен} = Q_M + Q_{nom},$$

рассчитываем Q_N - тепло, выделяемое за счёт работы деформации обрабатываемого материала, по средней потребляемой мощности (N_{cp}) работающего каландра, кВт;

Величина Q_N , соответственно, равна:

$$Q_N = N_{cp};$$

$$Q_N = 27,41 \text{ кВт};$$

$$Q_M = G_M c_M (T_K - T_H),$$

где G_M – количество материала, удаляемого с каландра (из материального баланса), кг/ч - 3147,3 (0,87 кг/с);

$c_M = 1,67$ кДж/(кг·К) – удельная теплоемкость перерабатываемого материала;

T_H, T_K - температура смеси (начальная и конечная), °С.

$$Q_M = 0,87 \cdot 1,67 (100 - 60) = 58,12 \text{ кВт}.$$

Тепло, теряемое в окружающую среду (Q_{nom}), определяется по формуле (77):

$$Q_{nom} = \alpha^P F_1 (t_{см.м} - t_{cp}) + \alpha^M F_2 (t_{см.в} - t_{cp}),$$

где $\alpha^P = \alpha_k^P + \alpha_l^P$,

$$\text{а } \alpha_k^P = 1,18 \cdot 10^{-3} \sqrt[4]{\frac{(t_{см.м}^P - t_{cp})}{D}} = 1,18 \cdot 10^{-3} \sqrt[4]{\frac{(100 - 20)}{0,5}} = 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град});$$

$$\alpha_{л}^p = c_2 \frac{\left[\left(\frac{T_{см.м}^p}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{ср}}{100} \right)^4 \right]}{(t_{см.м}^p - t_{ср})} = 1,51 \cdot 10^{-3} \frac{\left[\left(\frac{373}{100} \right)^4 - \left(\frac{293}{100} \right)^4 \right]}{(100 - 20)} = 2,3 \cdot 10^{-3} \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град});$$

$$\alpha^p = 4,2 \cdot 10^{-3} + 2,3 \cdot 10^{-3} = 6,5 \cdot 10^{-3} \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}).$$

Далее определяем коэффициент теплоотдачи с открытой металлической поверхности валков α^m , кВт/(м²·град) (81):

$$\alpha^m = \alpha_k^m + \alpha_l^m,$$

$$\text{где } \alpha_k^m = 1,18 \cdot 10^{-3} \sqrt[4]{\frac{(t_{см.в}^m - t_{ср})}{D}} = 1,18 \cdot 10^{-3} \sqrt[4]{\frac{80 - 20}{0,5}} = 3,9 \cdot 10^{-3} \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град});$$

$$\alpha_{л}^m = c_1 \frac{\left[\left(\frac{T_{см.в}^m}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{ср}}{100} \right)^4 \right]}{(t_{см.в}^m - t_{ср})} = 4,65 \cdot 10^{-3} \frac{\left[\left(\frac{353}{100} \right)^4 - \left(\frac{293}{100} \right)^4 \right]}{80 - 20} = 6,45 \cdot 10^{-3} \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град});$$

$$\alpha^m = 3,9 \cdot 10^{-3} + 6,45 \cdot 10^{-3} = 10,35 \cdot 10^{-3} \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град});$$

F – общая поверхность теплоотдачи валков, м²: $F = \pi D L n$;

где L – рабочая длина валков, м;

n – число валков каландра.

$$F = 3,14 \cdot 0,5 \cdot 1,25 \cdot 4 = 7,85.$$

F_1 – поверхность материала, закрывающего часть поверхности валков, м²:

$$F_1 = \frac{F \alpha}{n 360} = \frac{7,85 \cdot 320}{4 \cdot 360} = 1,74,$$

$$F_2 = 7,85 - 1,74 = 6,11 \text{ м}^2.$$

$$Q_{ном} = 6,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1,74 (100 - 20) + 10,35 \cdot 10^{-3} \cdot 6,11 (80 - 20) = 4,7 \text{ кВт},$$

$$Q_{n.мен} = 58,12 + 4,7 - 27,41 = 35,41 \text{ кВт}.$$

При известном значении $Q_{n.мен}$ определяем расход пара за единицу времени (с, ч) для обогрева валков, кг:

$$G = \frac{Q_{n.мен}}{(i_n - i_k)} = \frac{35,41}{2160} = 0,016 \text{ кг/с} = 0,016 \cdot 3600 = 57,60 \text{ кг/ч.}$$

Контрольные задачи

72-78. Произвести тепловой расчет трехвалковой краскотерочной машины с исходными данными контрольных задач 1-7 (раздел 2.4.1).

79. Произвести тепловой расчет вальцов Пд-1500 $\frac{550}{550}$ при следующих исходных данных: перерабатываемый материал – резиновая смесь; масса загрузки 50 кг; коэффициент использования машинного времени 0,9; удельная теплоемкость смеси 1,67 кДж/(кг·К); продолжительность цикла переработки 14 мин; начальная и конечная температуры смеси 20 и 70 °С.

80. Произвести тепловой расчет вальцов Пд-2100 $\frac{660}{660}$ при следующих исходных данных: перерабатываемый материал – резиновая смесь; масса загрузки 90 кг; коэффициент использования машинного времени 0,85; удельная теплоемкость смеси 1,63 кДж/(кг·К); продолжительность цикла переработки 12 мин; начальная и конечная температуры смеси 20 и 70 °С.

81. Произвести тепловой расчет вальцов См-1000 $\frac{400}{400}$ при следующих исходных данных: перерабатываемый материал – резиновая смесь; масса загрузки 100 кг; коэффициент использования машинного времени 0,9; удельная теплоемкость смеси 1,47 кДж/(кг·К); продолжительность цикла переработки 10 мин; начальная и конечная температуры смеси 20 и 85 °С.

82-94. Произвести тепловой расчет вальцов с исходными данными контрольных задач 31-43 (раздел 2.4.1).

95. Составить тепловой баланс Г-образного каландра 4-500-1250. Производительность 2000 кг/ч; средняя потребляемая мощность 42 кВт; начальная и конечная температуры смеси 60 и 80°С.

96. Составить тепловой баланс Г-образного каландра 4-610-1730. Про-

изводительность 2500 кг/ч; средняя потребляемая мощность 82 кВт; начальная и конечная температуры смеси 65 и 90°C.

97. Составить тепловой баланс каландра 3-500-1250. Производительность 2200 кг/ч; средняя потребляемая мощность 55 кВт; начальная и конечная температуры смеси 60 и 80°C.

98. Составить тепловой баланс каландра 3-610-1730. Производительность 2000 кг/ч; средняя потребляемая мощность 118 кВт; начальная и конечная температуры смеси 70 и 90°C.

99. Составить тепловой баланс резиноперерабатывающего каландра марки 10638/P3. Исходные данные: величина фрикции $f=1$; число оборотов $n=10$ об/мин; индекс течения $m=0,2$; реологические параметры смеси: $\mu=0,08$ МПа·с при $T=70$ °С (начальный зазор); $\mu=0,07$ МПа·с при $T=75$ °С (промежуточный зазор); $\mu=0,06$ МПа·с при $T=80$ °С (калибрующий зазор); зазоры между валками соответственно $H_0= 3, 2$ и 2 мм; радиус валка $R=350$ мм; длина валка $L=1800$ мм; производительность каландра 1300 кг/ч.

100-108. Произвести тепловой расчет каландра с исходными данными контрольных задач 63-71 (раздел 2.4.1).

Варианты контрольных работ по расчету валкового оборудования.

Вариант	Задачи
1	1, 8, 21, 44, 79
2	2, 9, 22, 45, 80
3	3, 10, 23, 46, 81
4	4, 11, 24, 47, 82
5	5, 12, 25, 48, 83
6	6, 13, 26, 49, 90
7	7, 14, 27, 50, 91
8	15, 28, 31, 51, 72
9	16, 29, 32, 52, 73
10	17, 30, 33, 53, 74

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Машиностроение: Энциклопедия в 40 т. Раздел IV. Расчет и конструирование машин. Т. IV-12. Машины и аппараты химических и нефтеперерабатывающих производств [Текст]. -М.: Машиностроение, 2004. -829 с.
2. Клинков, А.С. Инженерная оптимизация смесительного и валкового оборудования: учеб. пособие [Текст] / А.С. Клинков, М.В. Соколов, В.И. Кочетов, В.Г. Однолько. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 80 с.
3. Оборудование и основы проектирования заводов резиновой промышленности: учеб. пособие для вузов [Текст] / Н.Г. Бекин [и др.]; под общ. ред. Н.Д. Захарова; - Л.: Химия, 1985. - 504 с.
4. Лукач, Ю.Е. Автоматизированное проектирование валковых машин для переработки полимеров. [Текст] / Ю.Е. Лукач, Л.Г. Воронин, Л.И. Ружинская и др. -Киев: Тэхника, 1988. -208 с.
5. Давыдова, В.Н. Расчеты основного оборудования, перерабатывающего полимеры: учеб. пособие [Текст] / В.Н. Давыдова, В.А. Лукасик, Ю.В. Соловьева. –Волгоград: ВолгГТУ, 2008. – 98 с.
6. Корнев, А.Е. Технология эластомерных материалов [Текст] / А.Е. Корнев, А.М. Буканов, О.Н. Шевердяев. –М.: МГОУ, 2001. -472 с.
7. Торнер, Р.В. Теоретические основы переработки полимеров (механика процессов) [Текст] / Р.В. Торнер. -М.: Химия, 1977. -464 с.
8. Власов, С.В. Основы технологии переработки пластмасс [Текст] / С.В. Власов, Л.Б. Кандырин, В.Н. Кулезнев и др. 2-е изд., испр. и доп. -Учебник для ВУЗов, -М.: Химия, 2004. -600 с.
9. Ильясов, Р.С. Основы проектирования и оборудование предприятий по переработке полимеров. Часть 1. Оборудование шинного производства [Текст] / Р.С. Ильясов, С.И. Вольфсон. –Казань: Издательство «Образцовая типография», 2005. -86 с.
10. Проектирование и расчет валковых машин для полимерных материалов:

- учеб. пособие [Текст]. / А.С. Клинков, В.И. Кочетов, М.В. Соколов и др. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. – 1+28 с.
11. Оборудование предприятий по переработке пластмасс [Текст] / В.К. Завгородний [и др.]. -Л.: Химия, 1972. -461 с.
12. Бортников, В.Г. Основы технологии переработки пластических масс: учеб. пособие для вузов [Текст] / В.Г. Бортников. - Л.: Химия, 1983. -304 с.
13. Балашов, М.М. Исследование непрерывного процесса вальцевания полимеров [Текст] / М.М. Балашов, А.С. Клинков // Пластмассы и каучук. - 1973.-Т. 20. -№.4. -С. 291-293.
14. Ильясов, Р.С. Основы проектирования и оборудование предприятий по переработке полимеров. Часть 2. Производство шин [Текст] / Р.С. Ильясов, С.И. Вольфсон. –Казань: ООО "Издательско-олиграфический центр "Экспресс-плюс", 2007. -236 с.
15. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя [Текст] / В.И. Анурьев. -М.: Машиностроение, 1978. (т.1,2). -728 с.
16. Басов, Н.И. Расчет и конструирование оборудования для производства и переработки полимерных материалов [Текст] / Н.И. Басов, Ю.В. Казанков, В.А. Любартович. -М.: Химия, 1986. -487 с.
17. Клинков, А.С. Расчет и конструирование машин для переработки полимерных материалов. Валковые машины и роторные смесители: учеб. пособие. [Текст] / А.С. Клинков, Н.В. Павлов. -М.: Изд-во Моск. ин-та хим. машиностроения, 1977. -50 с.
18. Смешение полимеров [Текст]. / В.В. Богданов [и др.]. -Л.: Химия; Ленинградское отделение, 1979. -192 с.
19. Пахаренко, В.А. Переработка полимерных композиционных материалов [Текст]. / В.А. Пахаренко, Р.А. Яковлева, А.В. Пахаренко. -Колос.: Воля, 2006. -552 с.
20. Клинков, А.С. Автоматизированное проектирование валковых машин для переработки полимерных материалов [Текст]. / А.С. Клинков, М.В. Соко-

лов, В.И. Кочетов, П.С. Беляев, В.Г. Однолько. -М.: Изд-во Машиностроение-1, 2005. -320 с.

21. Факторович, Ю.Д. Оборудование промышленности искусственных кож и плёночных материалов: справочник. [Текст] / Ю.Д. Факторович. -М.: Легпромбытиздат, 1986. -248 с.

22. Орлова, О.В. Технология лаков и красок: учеб. пособие для техникумов [Текст] / О.В. Орлова. -М.: Химия, 1980. -392 с.

23. Швецов, Г.А. Технология переработки пластических масс [Текст] / Г.А. Швецов, Д.У. Алимов, М.Д. Барышников. -М.: Химия, 1988. -512 с.

24. Рюткянен, Е.А. Переработка и применение эластомеров: учеб. пособие для студентов заочного отделения. [Текст] / Е.А. Рюткянен, Ю.М. Волин, С.Н. Корчемкин. -СПб: СПбГТИ(ТУ), 2010. -64 с.

25. Ким, В.С. Конструирование и расчет механизмов и деталей машин химических и нефтеперерабатывающих производств [Текст] / В.С. Ким, В.А. Самойлов, Н.Н. Торубаров. -М.: КолосС, 2007. -440 с.

26. Красовский, В.Н. Примеры и задачи по технологии переработки эластомеров [Текст] / В.Н. Красовский, А.М. Воскресенский, В.М. Харчевников. -Л.: Химия, 1984. -240 с.

27. Красовский, В.Н. Переработка полимерных материалов на валковых машинах [Текст] / В.Н. Красовский. -Л.: Химия, 1979. -120 с.

28. Торнер, Р.В. Оборудование заводов по переработке пластмасс [Текст] / Р.В. Торнер, М.С. Акутин. -М.: Химия, 1986. -400 с.

29. Интенсификация процессов каландрования полимеров [Текст] / под ред. А.М. Воскресенского. -Л.: Химия, 1991. -224 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	5
1.1. Краскотерки	5
1.2. Вальцы	10
1.3. Кalandры	33
Контрольные вопросы к разделу «ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ»	47
Контрольные вопросы к разделу «Краскотерки»	47
Контрольные вопросы к разделу «Вальцы»	48
Контрольные вопросы к разделу «Кalandры»	49
2. РАСЧЁТЫ	51
2.1. Расчёт производительности	51
2.2. Расчёт распорных усилий и потребляемой мощности	53
2.3. Тепловые расчёты валковых машин	73
2.3.1. Тепловой расчёт краскотёрочной машины	73
2.3.2. Тепловой расчёт вальцов	74
2.3.3. Тепловой расчёт кalandра	77
2.4. Примеры расчёта валковых машин	80
2.4.1. Примеры расчёта производительности, силовых и энергетических параметров	80
Контрольные задачи	89
2.4.2. Примеры тепловых расчетов вальцов и кalandра	102
Контрольные задачи	110
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	112

Учебное издание

Николаева Ольга Ивановна,
Бурмистров Владимир Александрович

КОНСТРУКЦИИ И РАСЧЕТЫ ВАЛКОВЫХ МАШИН ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ПОЛИМЕРОВ

Учебное пособие

Редактор.О.А. Соловьева

Подписано в печать 28.10.2014. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага писчая. Усл.-печ.л.6,74.

Уч.-изд.л. 7,48. Тираж 100 экз. Заказ
ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный
химико-технологический университет»

Отпечатано на полиграфическом оборудовании кафедры экономики и финан-
сов ФГБОУ ВПО «ИГХТУ»

153000, г.Иваново, Шереметевский пр., 7