

На правах рукописи

ПАНОВ АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ

**Разработка конструкций и метода расчета многоручьевых
экструзионных головок**

Специальность 05.02.13 – «Машины, агрегаты и процессы»
(машиностроение в нефтеперерабатывающей промышленности)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Уфа - 2002

Общая характеристика работы

Актуальность темы. Усовершенствование существующих технологических процессов с целью многократного увеличения производительности и улучшения качества продукции должно базироваться, с одной стороны, на решении проблем структурной механики и физики полимеров, а с другой стороны – на создании принципиально новых типов технологических производств. Прогресс в области переработки пластмасс возможен на основе перспективного формующего оборудования с использованием автоматике и вычислительной техники. Среди важнейших физико-химических проблем переработки пластмасс необходимо назвать разработку новых и усовершенствование существующих методов прогнозирования надежности и долговечности полимерных изделий. Эта проблема сложна, поскольку включает в себя комплекс вопросов практически обо всех структурно-физических и химических превращениях полимеров, а также об уровнях эксплуатации изделий. Следует подчеркнуть, что надежный прогноз возможен только на базе глубокого знания основных закономерностей указанных явлений, причем с учетом их взаимного влияния.

Другой очень важный и обширный комплекс проблем переработки полимеров составляют расчет и конструирование перерабатывающих машин, технологической оснастки и самих изделий из пластмасс, а также технологическая аттестация перерабатываемых материалов. Сюда же примыкают проблемы классификации и стандартизации изделий и полуфабрикатов.

Замена дорогостоящих материалов из металла и дерева позволит получить экструзионным методом более дешевые полимерные изделия.

Правильный выбор гидродинамических характеристик потоков неньютоновских жидкостей при напорном течении во многом определяет интенсивность технологических процессов, качество получаемой продукции, размеры формующего инструмента. Поэтому их исследование имеет большое

значение при проектировании и расчете экструзионных головок и при выборе оптимальных режимов их эксплуатации.

При проектировании формующих головок для профильно-погонажных изделий необходимо учитывать закономерности проявления высокоэластичности расплавов. Эффект разбухания оказывает большое влияние на расходные характеристики и на изменение размеров экструдата, поэтому при выборе параметров каналов для формования изделий заданной конфигурации необходимо знать коэффициент разбухания расплава полимера.

Таким образом, вышеуказанные обстоятельства подтверждают актуальность работы по разработке конструкций и метода расчета многоручьевых экструзионных головок для изготовления профильно-погонажных изделий.

Основные направления исследований производились в соответствии с Государственными научно-техническими программами Академии Наук Республики Башкортостан (АН РБ) "Проблемы машиноведения, конструкционных материалов и технологий на 1996-1997 гг.", подпрограмма "Аппаратостроение" (Постановление Кабинета министров РБ №204 от 26.06.96), и "Концепцией и программой социально-экономического развития Республики Башкортостан на 1997-2000 гг. и до 2005 года" (Постановление Кабинета министров №3 от 12.01.98) по разделам "Совершенствование конструкций аппаратов с целью повышения эффективности и улучшения экологических условий на нефтехимических предприятиях Республики Башкортостан".

Цель работы. На основе аналитических и экспериментальных закономерностей процессов экструзии расплавов полимеров со сложной формой поперечного сечения разработать и конструкции высокопроизводительных экструзионных головок для производства профильно-погонажных изделий.

Создание математической модели, связывающей реологические свойства расплавов и гидродинамические характеристики потоков с основными параметрами экструзионных головок, с помощью которой возможно определение

массового расхода и гидравлического сопротивления при экструзии расплавов полимеров в каналах сложной формы поперечного сечения.

Выбор эмпирической математической модели для возможности описания высокоэластических свойств при экструзии и определения коэффициента разбухания экструдатов профильно-погонажных изделий.

Основные задачи работы

- 1 Разработка методики для расчета гидродинамических характеристик при истечении расплавов полимеров из формующих профильно-погонажных каналов многоручьевых экструзионных головок, в зависимости от реологических свойств, с учетом эффекта высокоэластичности.
- 2 Создание конструкций многоручьевых экструзионных головок для изготовления плинтусов, мебельного полозка, облицовочной рейки и строительного штапика.
- 3 Проведение экспериментальных исследований гидродинамических характеристик потоков полимеров в каналах многоручьевых головок.
- 4 Проведение обобщений экспериментальных результатов по разбуханию экструдатов при экструзии расплавов полимеров в формующих профильно-погонажных каналах экструзионных головок.
- 5 Проверка в промышленных условиях теоретических расчетов, проектно-конструкторских решений с целью оптимизации режимов переработки и внедрение в производство.

Научная новизна

Получена зависимость расхода расплава полимера от реологических свойств, геометрических размеров канала, градиента давления в каналах сложного профиля, при этом определены значения коэффициентов формы методом мембранной аналогии. Расчетные значения отличались на 8-10%.

Реализован процесс многоканальной экструзии, позволяющий получить реальные промышленные изделия сложной формы с заданными геометрическими

размерами, при этом найдены параметры оптимального процесса экструзии для различных полимеров.

Практическая ценность. Полученные результаты позволили создать новые конструкции многоручьевых экструзионных головок для изготовления профильно-погонажных изделий из полимерных материалов (Патенты РФ № 2146614; № 2180287).

В течение периода 1999-2001 гг. на Стерлитамакском ФГУП "Авангард" внедрена многоручьевая экструзионная головка для изготовления плинтусов из полимерных материалов с экономическим эффектом 256987,96 рублей в 2001 году (по Патенту РФ № 2146614).

Передана техническая документация на ЗАО "Каустик" для внедрения многоручьевой экструзионной головки для изготовления полимерного мебельного полозка в 2003 году (по Патенту РФ № 2180287).

Автор защищает

- 1 Новые конструкции многоручьевых экструзионных головок для изготовления профильно-погонажных изделий.
- 2 Расчетные зависимости для определения гидравлических характеристик потоков расплавов полимеров при экструзии в канале сложного профиля сечения формующей головки.
- 3 Эмпирическую выбранную математическую модель для расчета коэффициента разбухания экструдатов при экструзии расплавов полимеров.
- 4 Результаты экспериментального исследования закономерностей процесса экструзии и разбухания экструдатов при истечении их из формующих каналов.
- 5 Результаты экспериментальных исследований реологических свойств расплавов полимеров, которые использовались при постановке экспериментов по экструзии и расчетах.

Апробация работы

Основные результаты работы докладывались на Межвузовской научно-практической конференции "Экономический рост: проблемы развития науки, техники и совершенствования производства" (г. Стерлитамак, 1996 год); Межвузовской научно-технической конференции студентов, аспирантов и преподавателей (г. Салават, 1998 год); Всероссийской научно-технической конференции "Перспективные материалы, технологии и конструкции" (г. Красноярск, 1998 год); Республиканской научно-технической конференции "Техника на пороге XXI века" (г. Уфа, 1999 год); Международной конференции "Химия и химические технологии – настоящее и будущее" (г. Стерлитамак, 2000 год); Республиканской научно-технической конференции "Наукоемкие технологии машиностроения" (г. Уфа, 2000 год); Республиканской научно-практической конференции "Проблемы интеграции науки, образования и производства южного региона РБ" (г. Салават, 2001 год).

Публикации. Основные результаты работы опубликованы в двадцати одном научном труде и получено два Патента РФ.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, основных выводов, списка литературы из 125 источников и двух приложений. Общий объём диссертации составляет 140 страниц.

Основное содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, её научная и практическая значимость, сформулированы основные задачи исследований и положения, выносимые на защиту.

Глава 1 Анализ конструкций и методов расчета формующего инструмента для изготовления профильно-погонажных полимерных изделий методом экструзии. В главе дан анализ конструкций многоручьевых экструзионных головок для изготовления профильно-погонажных полимерных изделий. Сделан вывод, что существующие методы расчета профильно-погонажных формующих

каналов не находят практического применения к расчету формирующего инструмента. На основе проведенного анализа сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

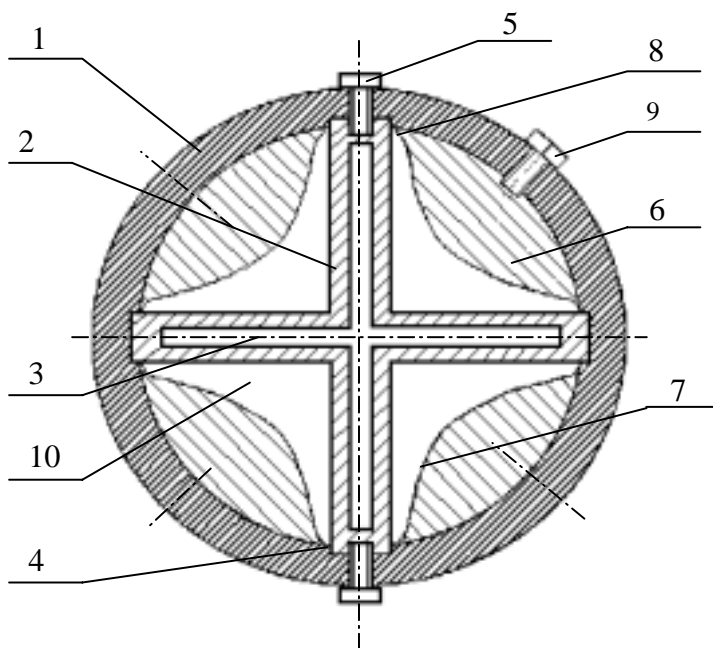
Глава 2 Разработка конструкций многоручьевых экструзионных головок для изготовления профильно-погонажных изделий.

В результате анализа конструкций многоручьевых экструзионных головок, а также применяя разработанный метод расчета экструзионных головок для производства профильно-погонажных изделий с использованием результатов проведенных экспериментальных исследований реологических и гидродинамических характеристик расплавов полимеров (в том числе и результатов экспериментального исследования высокоэластического восстановления струи расплава полимера при экструзии полимерных изделий) создан процесс многоканальной экструзии на основе конструкций многоручьевых экструзионных головок для изготовления плинтуса, мебельного полозка, облицовочной рейки и строительного штапика.

На рисунке 1 представлена многоручьевая экструзионная головка для изготовления плинтусов из полимерных материалов, которая содержит корпус 1, в котором смонтирован крестообразный дорн 2 (изготовленный из двух секций с последующей сваркой) с живым сечением канала крестообразной формы 3. Дорн 2 монтируется в пазах 4 корпуса 1 с помощью винтов 5. Профилирующие планки 6, имеющие специальный профиль в виде кривой второго порядка 7 с округленными кромками 8, жестко прикреплены к корпусу 1 винтами 9. В результате соединения и расположения дорна 2 и профилирующих планок 6 образуются четыре формирующих канала 10 для полимера, сообщающихся с питающим каналом головки, на входе которого монтируется гомогенизирующая решетка. Присоединение головки к экструдеру осуществляется с помощью накидного фланца.

Многоручьевая экструзионная головка работает следующим образом. Расплав полимера, нагнетаемый шнеком экструдера (не показан), проходит

гомогенизирующую решетку и попадает в питающий канал, в котором выравниваются скорости потока, плавный срез входной части крестообразного дорна 2 обеспечивает дополнительное выравнивание скоростей потока и равномерное распределение расплава полимера по четырём формирующим каналам 10. Проходя по формирующим каналам 10, расплав полимера охлаждается и оформляется в непрерывный экструдат в виде строительного плитуса.



(Обозначение позиций смотрите в тексте)

Рисунок 1 – Многоручьевая экструзионная головка для изготовления плитусов из полимерных материалов по Патенту РФ № 2146614

Поскольку формирующий канал образуется за счет соединения дорна 2 и профилирующей планки 6, которые изготовлены с высоким классом чистоты поверхности ($\nabla 10$ - $\nabla 12$), то это позволяет при совмещении указанных деталей получить при сборке без малейших зазоров цельный профильный канал 10, в котором при продавливании струи расплава полимера на поверхности профильно-погонажного изделия не образуется следов от мест соединения составных элементов, и плитус выходит высокого качества с глянцевой поверхностью.

Особенности данной конструкции многоручьевой экструзионной головки заключаются в том, что дорн выполнен крестообразной формы, с проточным

каналом для системы охлаждения, имеющим в сечении крестообразную форму, а профилирующие планки имеют профиль в виде кривой второго порядка со скругленными кромками и смонтированы с помощью винтов на корпусе симметрично относительно продольной оси.

На рисунке 2 изображены продольный и поперечный разрезы многоручьевой экструзионной головки для изготовления полимерного мебельного полозка.

Многоручьевая экструзионная головка для изготовления полимерного мебельного полозка содержит корпус 1, в котором расположен разъемный дорн (выполненный из двух секций сегментного сечения 2 и 3, между которыми расположен вкладыш двулысочного профиля 4), смонтированный относительно продольной оси головки при помощи цилиндрических штифтов 5.

В результате соединения двух секций дорна 2, 3 и вкладыша 4 образованы четыре формующих канала 6 и 7 (верхние), 8 и 9 (нижние) для формования полимерного мебельного полозка заданных размеров поперечного сечения. Для системы охлаждения предусмотрены четыре канала 10 во вкладыше 4, соединяемые между собой каналом 11, а также штуцер 12 для ввода хладагента.

Перед входом полимера в формующие каналы смонтирован дополнительный элемент 13 с помощью штифта 14. Элемент имеет острую кромку диаметральной перегородки 15 для равномерного распределения общего потока по двум направляющим каналам 16 и 17 с изменяющимися профилями поперечного сечения с помощью наклонных стенок 18 и 19, которые сужают живое сечение подвода полимера перед входом в формующие каналы 6-9.

Каналы 16 и 17 сообщались с питающим каналом головки 20, на входе которого размещалась гомогенизирующая решетка 21. Присоединение головки к экструдеру осуществлялось с помощью накидного фланца 22.

Многоручьевая экструзионная головка для изготовления полимерного мебельного полозка работает следующим образом. Расплав полимера, нагнетаемый шнеком экструдера (не показан), проходит через

гомогенизирующую решетку 21 и попадает в питающий канал 20, далее поток расплава полимера с помощью острой кромки диаметральной перегородки 15 элемента 13 распределяется по двум направляющим каналам 16 и 17. Проходя по формующим каналам 6-9, расплав охлаждается с помощью хладагента, проходящего по каналам 10, и оформляется в непрерывный профильно-погонажный экструдат в виде мебельного полозка. Формующие профильные каналы 6-9 образуются за счет соединения двух секций сегментного сечения дорна 2 и 3 и вкладыша 4 с помощью цилиндрических штифтов 5.

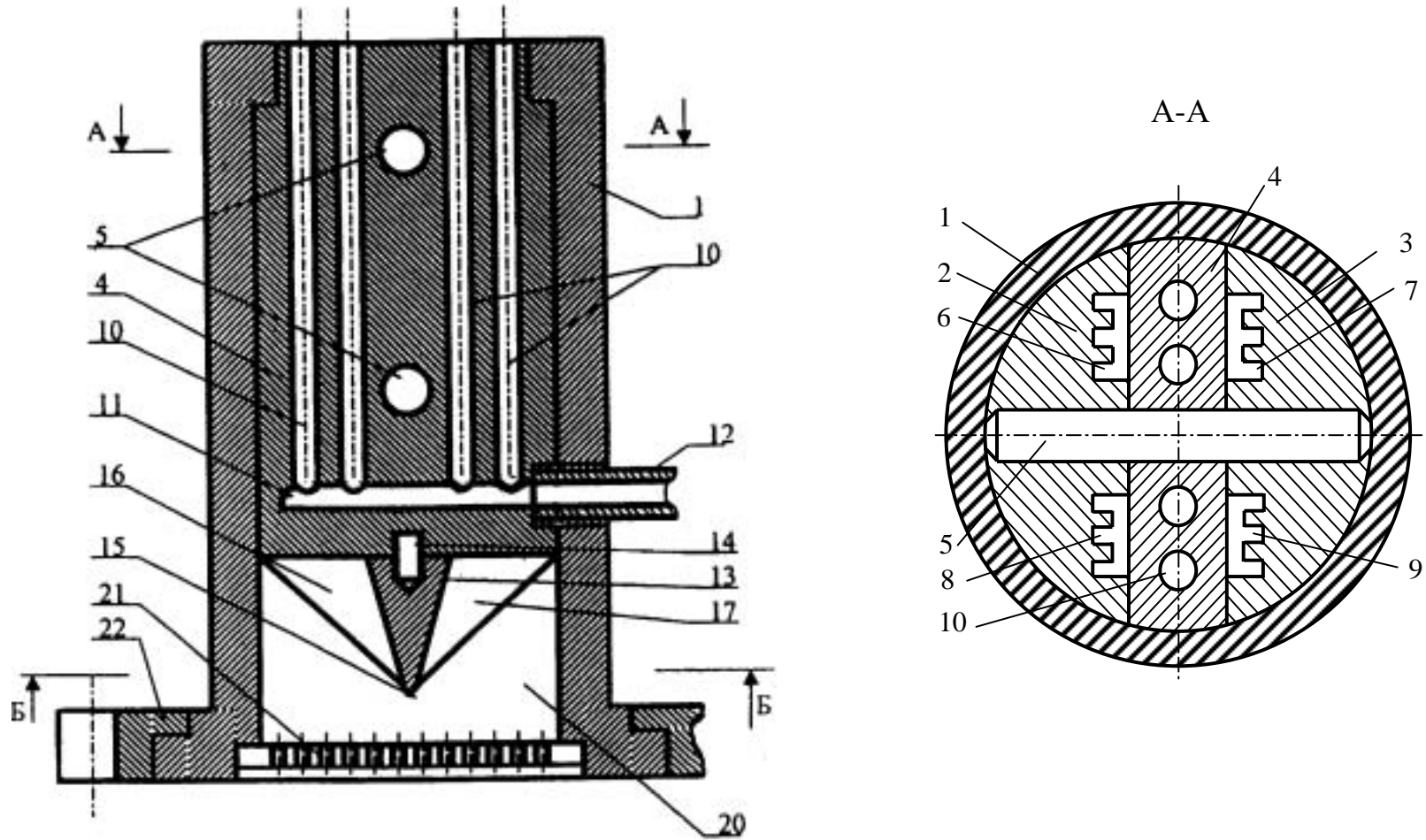
Оптимальный режим экструзии указанного материала при температуре 438-543 К и создаваемом давлении - 4,0-5,0 МПа.

На разработанную конструкцию многоручьевой экструзионной головки для изготовления полимерного мебельного полозка получен Патент РФ № 2180287.

На разработанные конструкции:

- двухканальной экструзионной головки для изготовления полимерной облицовочной рейки получено решение ФИПС о выдаче Патента РФ на изобретение по заявке № 2000116954/12 от 29.11.2001;
- трехручьевой экструзионной головки для изготовления полимерного строительного штапика получено решение ФИПС о выдаче Патента РФ на изобретение по заявке № 20001105039/12 от 05.03.2002.

Указанные конструкции внедрены на ФГУП «Авангард» и ЗАО «Каустик». Это дало возможность создать процесс многоканальной экструзии, который позволил повысить производительность; свести к минимуму потери материала, благодаря равнозначному расположению формующих каналов, исключаящему неравномерность выхода экструдата; высвободить дорогостоящие металлы и древесину, используемые при производстве аналогичных изделий с заменой их на полимер; улучшить условия труда и экологическую обстановку.



(Обозначение позиций смотрите в тексте)

Рисунок 2 – Многоручьевая экструзионная головка для изготовления полимерного мебельного ползка

Глава 3 Метод расчета многоручьевых экструзионных головок для изготовления полимерных профильно-погонажных изделий.

Анализ существующих теоретических и экспериментальных исследований течения аномально-вязких жидкостей в призматических каналах показывает, что в них в основном рассматривается напорное течение в каналах простейшего геометрического сечения (треугольник, прямоугольник, круг), особенно это касается экспериментальных исследований.

Возможно использование численных методов с помощью двойных интегралов с применением сложных кубатурных формул. Исследователи, использовавшие теорию возмущений и вариационные методы, теоретически показали, что последние связаны с решением нелинейной системы алгебраических уравнений, которые требуют выполнения большого объема вычислительных работ и весьма приближенны. Это обстоятельство значительно снижает практическую ценность разработанных ими методов.

Рассмотрим течение аномально-вязкой жидкости в канале произвольного сечения. Схема течения жидкости представлена на рисунке 3.

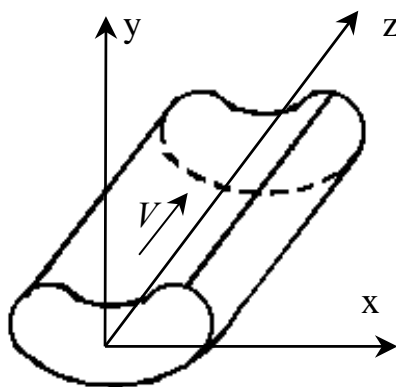


Рисунок 3 - Схема течения жидкости в призматическом канале

При решении задачи течения аномально-вязкой жидкости в призматическом канале принимались следующие допущения: поперечные потоки в канале пренебрежимо малы по сравнению с продольными; жидкость течет параллельно оси OZ и, пренебрегая действием массовых сил, будем иметь $V_z=V(x,y)$; $V_x=V_y=0$. Жидкость несжимаема и подчиняется реологическому закону $\varphi = f(\tau^2)$;

скольжение на стенке канала отсутствует; процесс течения развитый, установившийся, ламинарный и изотермический.

Учитывая указанные допущения из уравнений движения и сохранения массы в прямоугольных координатах, получаем:

$$\frac{\partial \tau_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_y}{\partial y} = -\Delta P = Const, \frac{\partial V}{\partial z} = 0. \quad (1)$$

Если левую и правую части уравнения (1) умножить на V и взять двойной интеграл по сечению канала, то, используя формулу Остроградского-Грина, было получено*:

$$Q = \frac{1}{\Delta P} \iint_{\Omega} \varphi \tau^2 dx dy. \quad (2)$$

Таким образом, по уравнению (2) можно определить расход жидкости; однако ценность данной формулы для инженерной практики невелика, поскольку дает приближенный расчет и использование его трудоемко, так как необходимо вычислять двойной интеграл.

Поэтому выражение (2) необходимо преобразовать в более упрощенную зависимость. Для этого запишем уравнение (2) в полярной системе координат:

$$Q = \frac{1}{\Delta P} \iint_{\Omega} \varphi \tau^2 dr d\Theta. \quad (3)$$

Перепишем (3) в следующем виде:

$$Q = \frac{1}{\Delta P} \int_0^{2\pi} d\Theta \int_0^{\tau_0} \varphi \tau^2 r dr.$$

Учитывая, что напряжение на стенке канала определяется как $\tau = \Delta P \cdot r$, делая замену переменных в выше приведенном уравнении $r = \tau/\Delta P$, а $dr = d\tau/\Delta P$, получим

$$Q = \frac{1}{\Delta P^3} \int_0^{2\pi} d\Theta \int_0^{\tau_0(\Theta_{cp})} \varphi \tau^3 d\tau,$$

где $\tau_0 = \Delta P R_r$, а $\tau_0(\Theta_{cp}) \rightarrow b\tau_0$.

Используя теорему о среднем, получим

$$Q = \frac{a\rho}{\Delta P^3} \int_0^{b\tau_0} \varphi\tau^3 d\tau. \quad (4)$$

Тогда для многоручьевого процесса течения запишем уравнение (4) в следующем виде:

$$Q = \frac{n a \rho}{\Delta P^3} \int_0^{b\tau_0} \varphi\tau^3 d\tau, \quad (5)$$

где n - число каналов в формирующей головке; a и b - коэффициенты, зависящие от формы поперечного сечения каналов.

Полученные зависимости (4, 5) позволяют вычислить расходные характеристики каналов произвольного сечения. Далее запишем известное выражение градиента скорости $dV/dr = \varphi\tau$, разделяя в нём переменные, учитывая, что $dr = d\tau/\Delta P$, после преобразования получим

$$V_{\max} = \frac{1}{\Delta P} \int_0^{b\tau_0} \varphi\tau d\tau. \quad (6)$$

Глава 4 Экспериментальное исследование процессов экструзии расплавов полимеров в многоручьевых профильно-погонажных каналах.

4.1 Результаты исследования реологических свойств расплавов полимеров

Экспериментальные исследования течения в профильно – погонажных каналах проводились на следующих расплавах полимеров: полиэтилен высокого давления марки 15802-020; и полиэтилен низкого давления марки 277-73; полистирол ПСМ-115; полипропилен марки 01003; кабельный пластикат марки 040.

Эти марки полимеров отличаются стабильностью физико-химических свойств и поэтому хорошей воспроизводимостью результатов исследования.

Исследование реологических свойств вышеуказанных полимеров проводилось на капиллярном вискозиметре на двух капиллярах круглого сечения диаметром 4,2 мм, длиной 50 и 75 мм, изготовленных из стали 45 (ГОСТ 1050) чистотой обработки внутренней поверхности канала $Ra \sqrt{0,8}$.

Входные эффекты (потери на входе в капилляр) исключались с помощью двух капилляров Е. В. Бегли, и все необходимые расчеты по вискозиметрии исследуемых расплавов проводились по методике Г. В. Виноградова и Н. В. Прозоровской. Для удобства теоретических расчетов вместо эффективной вязкости принималась обратная ей величина - эффективная текучесть.

На рисунке 4 представлены кривые текучести расплава полипропилена (а,б) и кабельного пластиката (в) при различных температурах.

Результаты исследования реологических свойств полимеров следует рассматривать в качестве исходного материала для последующих разделов работы.

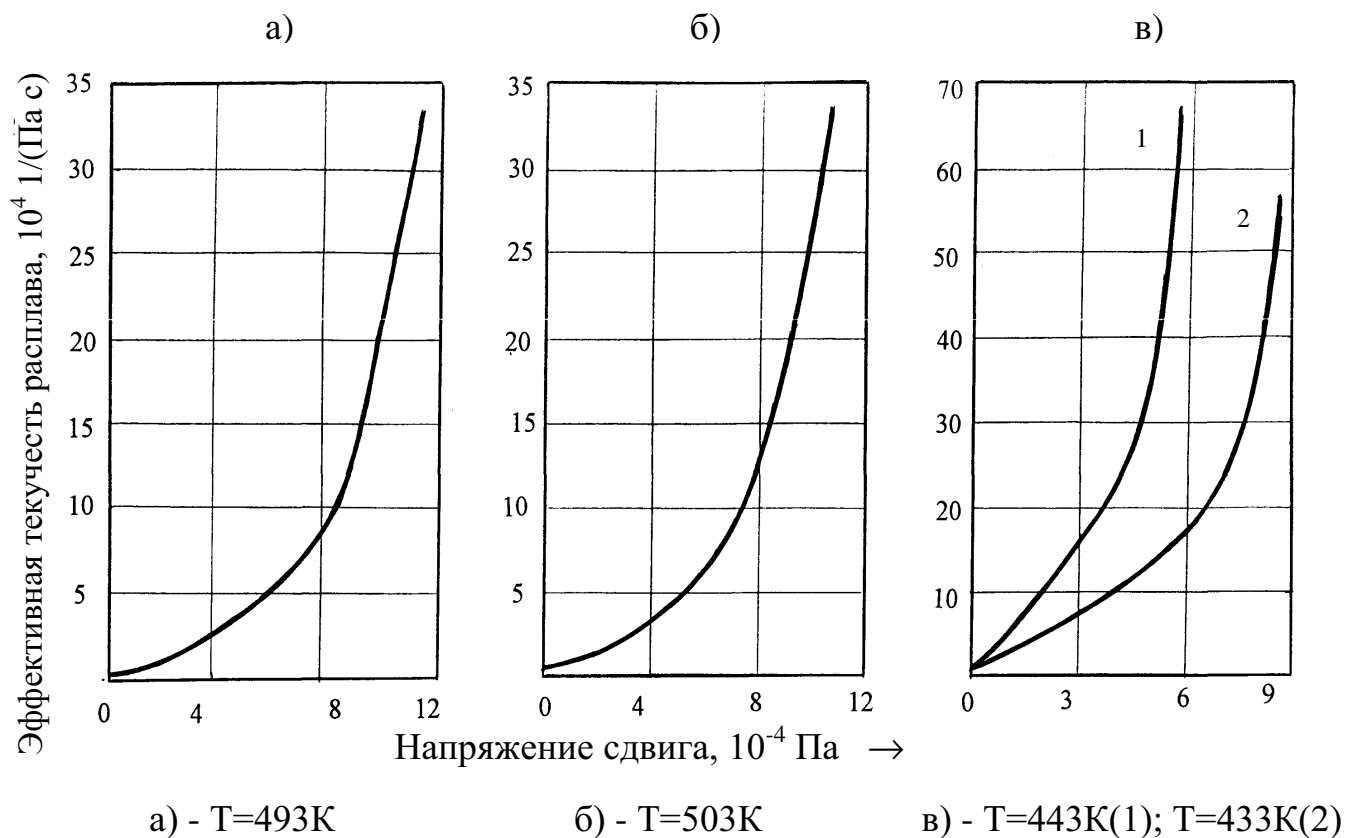


Рисунок 4 - Кривые текучести расплава полипропилена (а, б) и кабельного пластиката (в) (при различных температурах)

4.2 Описание экспериментальной установки для исследования процессов течения расплавов полимеров

Для сравнения теоретических и экспериментальных данных по расходным характеристикам были проведены экспериментальные исследования на опытной установке с экструдером, имеющим червяк диаметром 40мм и длиной 640 мм.

Экспериментальные исследования течения расплавов полимеров проводились в многоручьевых профильно-погонажных каналах. Контуры их поперечных сечений и геометрические размеры показаны в таблице 1.

Полученные значения перепадов давления на единицу длины для каждой пары каналов затем усреднялись. Таким образом, были получены зависимости массового расхода от перепада давления на единицу длины канала. Значения массового расхода от перепада давления на единицу длины учитывались только в расчётах для одного канала многоручьевой головки, а для получения общего расхода расплава полимера необходимо учитывать расход полимера во всех формирующих каналах головки.





На рисунках 5 и 6 графически представлены результаты теоретического и экспериментального исследований течения расплавов полимеров в профильно-погонажных каналах различной формы сечения: на оси ординат откладывались значения массового расхода полимеров Q (кг/с), а на оси абсцисс – перепад давления на единицу длины канала ΔP (МПа/м) (градиент давления). Точками даны экспериментальные значения массовых расходов, а сплошной линией - теоретические, рассчитанные по формуле (4), пунктирной - по упрощенным формулам для щели и цилиндрического канала.

Сравнение полученных результатов экспериментальных данных с вычисленными значениями по формулам для щели и цилиндрического канала показали, что расхождения в данном случае составили до 70%, в то время как по формулам (4 и 5) - 8-10%.

Таким образом, анализ показал, что по формулам для щели и цилиндрического канала можно проводить приближенные грубые расчеты

гидродинамических характеристик потоков при течении расплавов в профильно-погонажных каналах, а для точных расчетов следует применять формулы (4 и 5).

Таблица 1- Значения геометрических размеров исследуемых каналов

Контур исследуемого канала	R_{Γ} , мм	S , мм ²	Π , мм	a	b
	4,28	467,0	109,0	1,80	2,45
	1,8	156,0	86,0	1,92	2,42
	1,56	200,0	127,0	1,83	2,52
	1,89	198,0	99,5	1,76	2,71

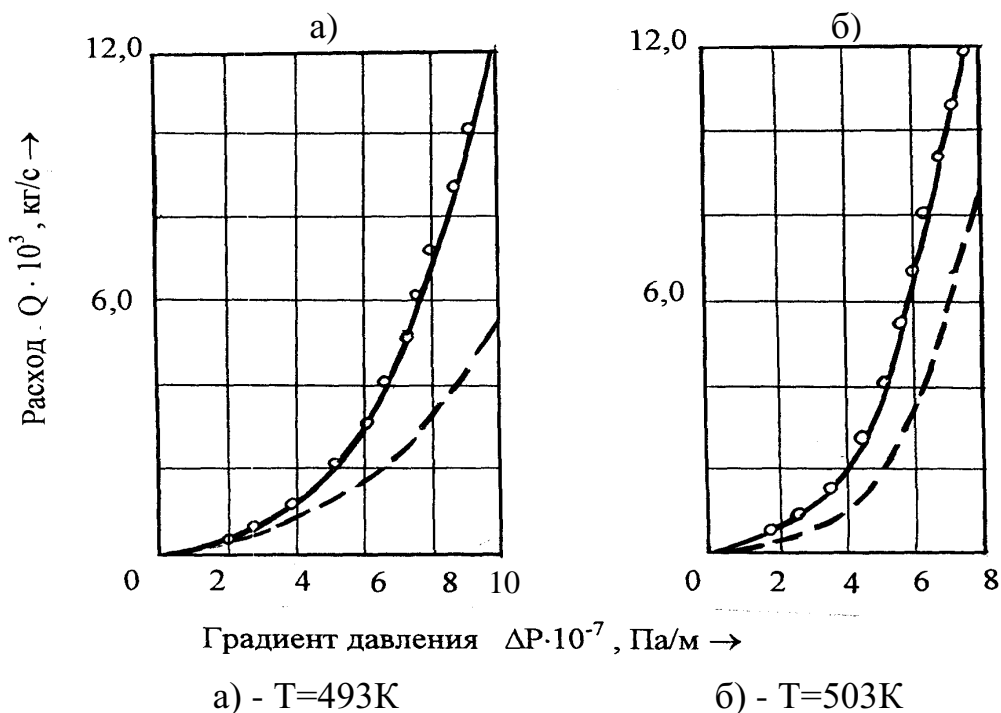


Рисунок 5 – Зависимость расхода расплава полипропилена от перепада давления

экструзии: $K = f \cdot (P)$. Точками даны экспериментальные значения коэффициентов разбухания экструдатов, а сплошной линией - теоретически рассчитанные по формуле (8).

Используя π -теорему и теорию групп получили зависимость, позволяющую теоретически количественно описать эффект разбухания при продавливании расплавов полимеров через формующие каналы любого сложного сечения. Математическая модель имеет следующий вид:

$$K = B \cdot a^{m_1} \cdot b^{m_2} \cdot (\gamma \cdot \Theta)^{n_1} \cdot \left(\frac{\eta \cdot P}{\Theta} \right)^{n_2} \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{S_K}} \right)^{n_3}, \quad (8)$$

где K - коэффициент разбухания; B - коэффициент, зависящий от природы материала, (определяется по известной методике); a, b - коэффициенты, зависящие от формы сечения канала; m_1, m_2, n_1, n_2, n_3 - показатели степеней, зависящие от вида полимера, определяемые по методике Бегли Е.В.

Практический интерес представляет сравнение полученных результатов по разбуханию экструдатов в настоящей работе с результатами теоретических исследований других авторов. С этой целью нами проводились сопоставления коэффициентов разбухания для образцов полипропилена, полученных при истечении из каналов с сечением в виде круга и строительного штапика по уравнению, предложенному М.Л. Фридманом. Для аппроксимации кривой зависимости K от $\bar{\tau}$ принимали полином вида

$$K = 1 + a \cdot \bar{\tau} + b \cdot \bar{\tau}^n, \quad (9)$$

где a, b, n - эмпирические коэффициенты.

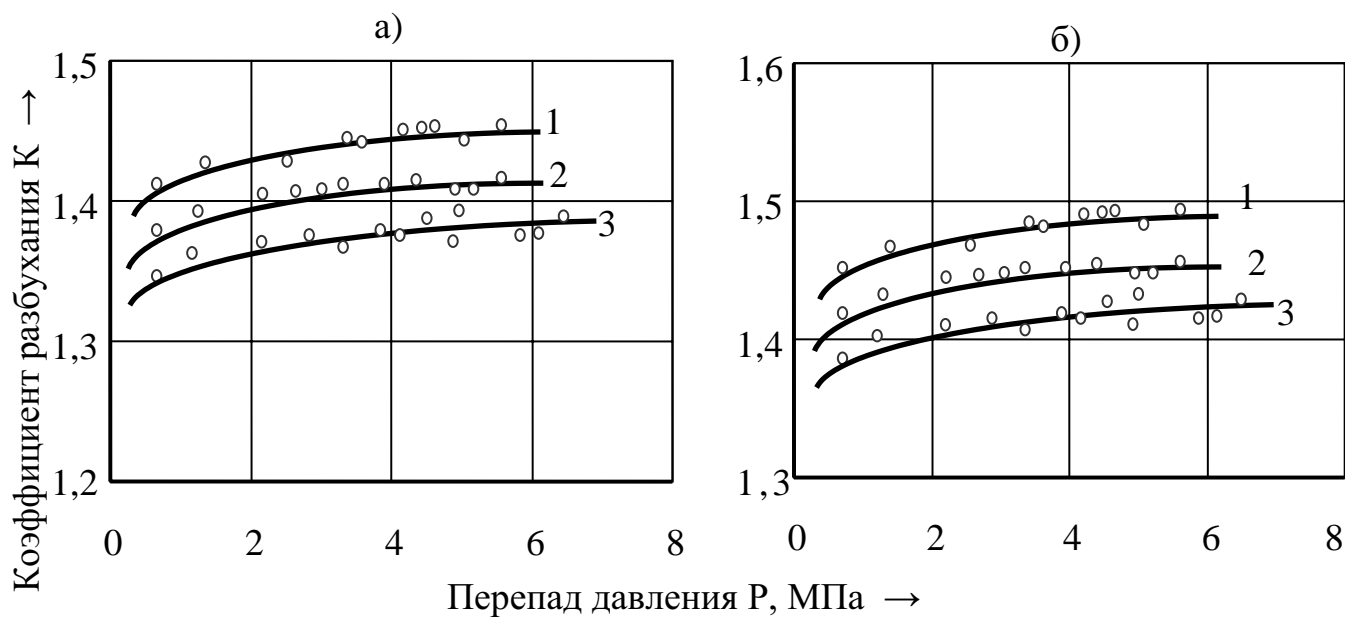
Для образцов полипропилена $a = 0,51$; $b = 0,069$; $n = 1,87$. Результаты такого сопоставления представлены в таблице 2. Из приведённых данных видно, что максимальное расхождение между экспериментальными и расчётными по предложенной зависимости (8) значениями коэффициентов разбухания для исследуемых каналов не превышало 5%, в то время как эти отклонения для сравниваемых величин, полученных по формуле (9), составляли, например, в канале с сечением в виде строительного штапика более 25% (таблица 2).

Таблица 2-Результаты сопоставления коэффициентов разбухания полученных по формулам (7, 8 и 9).

Материал-полипропилен марки 01003; сечение канала – строительный штапик; температура 493К															
$P,$ МПа	$K_{\text{э}}$	K_T	$\delta\%$	K_{ϕ}	$\delta_{\phi}\%$	$K_{\text{э}}$	K_T	$\delta\%$	K_{ϕ}	$\delta_{\phi}\%$	$K_{\text{э}}$	K_T	$\delta\%$	K_{ϕ}	$\delta_{\phi}\%$
$L/d_{\text{э}} = 31,8$					$L/d_{\text{э}} = 39,9$					$L/d_{\text{э}} = 48,9$					
1,0	1,40	1,46	-4,29	1,03	26,43	1,22	1,25	-2,46	1,02	16,39	1,12	1,17	-4,46	1,01	9,82
2,0	1,47	1,51	-2,27	1,06	27,89	1,27	1,28	-0,79	1,04	18,11	1,17	1,21	-3,42	1,03	11,97
3,0	1,51	1,53	-1,32	1,09	27,81	1,30	1,30	0,00	1,05	19,23	1,20	1,23	-2,50	1,04	13,33
4,0	1,53	1,55	-1,31	1,12	26,80	1,33	1,32	0,75	1,07	19,55	1,23	1,24	-0,81	1,06	13,82
5,0	1,55	1,56	-0,65	1,16	25,16	1,34	1,33	0,75	1,09	18,66	1,24	1,25	0,81	1,07	11,29
6,0	1,56	1,57	-0,64	1,19	23,72	1,35	1,34	0,74	1,11	17,78	1,25	1,26	-0,80	1,09	12,80
7,0	1,56	1,58	-1,28	1,22	21,79	1,35	1,35	0,00	1,13	16,30	1,26	1,27	-0,79	1,11	11,90
8,0	1,45	1,46	-0,69	1,25	16,00	1,24	1,24	0,00	1,15	12,03	1,16	1,17	-0,85	1,12	4,27
9,0	-	-	-	-	-	1,36	1,36	0,00	1,17	13,98	1,27	1,28	-0,79	1,14	10,24

$\delta\%$ -отклонение экспериментальных данных от значений, вычисленных по формуле (8);

δ_{ϕ} - отклонение экспериментальных данных от значений, вычисленных по формуле (9).



а) – $T = 433\text{K}$;

б) – $T = 453\text{K}$

1 - $L=120\text{мм}$;

2 - $L=140\text{мм}$;

3 - $L=160\text{мм}$

Сечение канала - плинтус

Рисунок 7 – Зависимость коэффициента разбухания экструдата ПНД от перепада давления в канале

Таким образом, проведённые нами сопоставления позволяют сделать вывод о том, что предложенная нами математическая модель более точно описывает процесс высокоэластического восстановления струи расплавов полимеров, поэтому её можно рекомендовать в дальнейшем для расчётов коэффициентов разбухания термопластов при истечении из формующих каналов различного геометрического сечения.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1 На основании проведённых теоретических и экспериментальных исследований разработаны высокопроизводительные конструкции многоручьевых экструзионных головок для изготовления профилно – погонажных полимерных изделий, плинтусов, мебельного полозка, облицовочной рейки и строительного штапика, которые позволят повысить производительность процесса экструзии, свести к минимуму потери материала благодаря равнозначному расположению формующих каналов, исключая неравномерность выхода экструдата, высвободить дорогостоящую древесину, используемую при производстве

аналогичных изделий, с заменой её на полимер, а также улучшить условия труда и экологическую обстановку.

2 На основании теоретических исследований предложена методика расчёта основных гидродинамических характеристик формующих каналов многоручьевых профильно – погонажных экструзионных головок, основанная на применении коэффициентов формы.

3 Методом мембранной аналогии определены коэффициенты формы исследуемых сечений формующих каналов многоручьевых экструзионных головок, для изготовления плитусов, мебельного полозка, облицовочной рейки и строительного штапика.

4 Проведены экспериментальные исследования по напорному течению расплавов полимеров в формующих профильно – погонажных каналах разработанных многоручьевых экструзионных головок. Отклонение результатов теоретического решения от экспериментальных значений находилось в пределах 8-10%.

5 Проведены исследования реологических характеристик многотоннажных промышленных полимеров, применяемых при постановке экспериментов (ПВД 15802, ПНД 277-73; кабельный пластикат 040; полистирол ПСМ-115; полипропилен 01003).

6 Выбранная математическая модель позволила количественно более точно описать эффект разбухания при экструзии полимерных профильно – погонажных изделий сложного сечения.

7 Расчёты и проектно – конструкторские решения проверены в промышленных условиях и могут быть использованы с целью оптимизации режимов переработки полимерных материалов и для разработки новых конструкций экструзионных головок для изготовления различных профильно – погонажных изделий.

Основные положения и результаты опубликованы в работах:

1 Панов А.К., Панов А.А. Конструктивные особенности многосвязных каналов экструзионных головок// Экономический рост: проблемы развития науки, техники и совершенствования производства: Тез. докл. межвузовской науч.-практич. конф. - Стерлитамак: УГНТУ, 1996. – С. 11-12.

2 Панов А.К., Иванов С.П., Панов А.А. Определение коэффициентов формы профильно-погонажных формующих каналов экструзионных головок методом мембранной аналогии// Наука производству: Тез. докл. межвузовской науч.-практич. конф. студентов, аспирантов и преподавателей. – Салават: УГНТУ, 1998. – С. 35-36.

3 Панов А.К., Анасова Т.А., Панов А.А. Применение теории кручения стержней для расчёта гидродинамических характеристик потоков полимеров в каналах сложного профиля, многоручьевой экструзионной головки// Наука производству: Тез. докл. межвузовской науч.-практич. конференции студентов, аспирантов и преподавателей. – Салават: УГНТУ, 1998. – С. 36-38.

4 Панов А.К., Панов А.А. Многоручьевая экструзионная головка для изготовления плинтусов из полимерных материалов// Наука производству: Тез. докл. межвузовской науч.-практич. конф. студентов, аспирантов и преподавателей. – Салават: УГНТУ, 1998. – С. 38-40.

5 Панов А.К., Анасова Т.А., Панов А.А. Конструктивные особенности многоручьевой экструзионной головки для изготовления плинтусов из полимерных материалов// Перспективные материалы, технологии и конструкции: Сб. науч. тр. Всероссийской науч.-технич. конф. - Красноярск, 1998. – С. 247-277.

6 Голобородкина Р.В., Анасова Т.А., Панов А.К., Панов А.А. Разработка методов расчета и совершенствования конструкций многоручьевых экструзионных головок./ УГНТУ. - Уфа, 1999.-17с. - Деп. в ВИНТИ 24.02.99. №552-В99.

7 Панов А.А. Разработка конструкции многоручьевой экструзионной головки для изготовления плинтусов и методика расчета её гидродинамических

характеристик// Сборник материалов конкурса научных работ студентов ВУЗов республики Башкортостан. –Уфа, 1999. –С. 77-78.

8 Панов А.К., Мехлис А.Н., Панов А.А, Разработка конструкции экструзионной головки для изготовления полимерных оболочек// Техника на пороге 21 века: Сб. науч. тр.- Уфа: Изд-во Гилем, 1999.– С. 48-57.

9 Панов А.К., Панов А.А. Разработка конструкции многоручьевой экструзионной головки для изготовления полимерного мебельного полозка// Химия и химические технологии - настоящее и будущее: Сб. науч. тр. Международной науч. конф. - Стерлитамак, 2000. – С. 131-133.

10 Панов А.К., Анасова Т.А., Панов А.А Методика расчета гидродинамических характеристик многоручьевой экструзионной головки для изготовления полимерного полозка// Там же. –Стерлитамак, 2000.- С. 133-135.

11 Патент 2146614 РФ. Многоручьевая экструзионная головка для изготовления плинтусов из полимерных материалов./ Панов А.К., Панов А.А.- Заявлено 03.12.1997 Оpubл. 20.03.2000. Бюл. №8.

12 Панов А.А. Разработка конструкции многоручьевой экструзионной головки для изготовления мебельного полозка// Сборник материалов Республиканского конкурса научных работ студентов ВУЗов. – Уфа: Изд-во Литера, 2000. – С. 68

13 Панов А.К., Минскер К.С., Ильина Т.Ф. и Панов А.А. Поливинилхлоридная композиция с использованием наполнителей из вторичного сырья// Пластические массы. -2000. -№12. – С.36-37

14 Панов А.К., Киселева О.Ф., Мехлис А.Н., Панов А.А. Исследование процессов экструзии в формующих каналах экструзионной головки с применением ультразвука// Научно-технические технологии машиностроения: Сб. науч. тр. -Уфа, Изд-во Гилем, 2000. – С. 135-147.

15 Панов А.К., Минскер К.С., Мехлис А.Н., Панов А.А. Конструкция экструзионной головки для изготовления полимерных оболочек // Пластические массы. -2001. -№ 3. – С. 43-45.

16 Панов А.К., Анасова Т.А., Панов А.А. Разработка конструкций экструзионных головок и методика расчета их пропускной способности// Сборник научных трудов Стерлитамакского филиала АН РБ/ Сер. физико-математических и технических наук. -Вып. №2. – Уфа: Изд-во Гилем, 2001. – С. 185-189.

17 Панов А.К., Голобородкина Р.В., Анасова Т.А. и Панов А.А. Конструкция многоручьевой экструзионной головки для изготовления полимерного мебельного полозка и методика расчета ее гидродинамических характеристик./ УГНТУ. - Уфа, 2001.-16с. - Деп. в ВИНТИ 09.07.2001. №1623-В2001.

18 Панов А.К., Голобородкина Р.В., Анасова Т.А., и Панов А.А. Конструкция многоручьевой экструзионной головки для изготовления плитусов и методика расчета её гидродинамических характеристик./ УГНТУ. - Уфа, 2001.- 13с. - Деп. в ВИНТИ 09.07.2001. №1624-В2001.

19 Патент №2180287 РФ. Многоручьевая экструзионная головка для изготовления полимерного мебельного полозка./ Панов А.К., Панов А.А.- Заявлено 22.02.1999 Опубликован 10.03.2002. Бюл. №7.

20 Панов А.К., Абдрашитов Я.М., Мехлис А.Н., Панов А.А. и Петров П.И. Двухканальная экструзионная головка для изготовления полимерной облицовочной рейки./ Решение ФИПС о выдаче патента на изобретение по заявке №2000116954/12 от 29.11.2001.

21 Панов А.К., Кузеев И.Р., Панов А.А. и др. Трехручьевая экструзионная головка для изготовления полимерного строительного штапика./ Решение ФИПС о выдаче патента на изобретение по заявке №20001105039/12 от 05.03.2002.

22 Panov A.K., Minsker K.S., P`ina T.F., Panov A.A. Polyvinylchloride composition with secondary raw materials. // Russian polymer news, Vol.7 -2002.-№1.- P. 41-42.

23 Panov A.K., Minsker K.S., Mekhlis A.N., Panov A.A. Extrusion head design for polymeric casing formation. // Russian polymer news, Vol.7. –2002. -№1.-P. 43-46.