

УДК 532.516

С.В. Носко канд.техн.наук, доц., С.О. Чистяков маг.
НТУ України «Київський політехнічний інститут» г. Киев, Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АНОМАЛЬНО – ВЯЗКИХ ЖИДКОСТЕЙ В ФОРМУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТАХ ЛИТЬЕВОЙ МАШИНЫ

Наведено реологічні дослідження аномально - в'язких рідин, що підкоряються степеневому закону Освальда де Віля. Отримано напорно – витратні характеристики, які описують гідродинаміку потоку у формуючих елементах ливарної машини. Представлені рекомендації з розрахунку параметрів формування при нестабілізованій течії розчинів полімерів.

Rheological research anomalously-viscous liquid is resulted, which submit the law of degree of Oswald de Ville. It has received pressure-flow rate characteristics, which describe hydrodynamic flow in forms elements injection machine. Presented recommendations upon settlement of forming parameters at an unsteady-state flow solutions of polymers.

Различные механизмы литьевой машины выполняют операции литья полимеров под давлением с помощью гидропривода с системой автоматического управления. В исходные данные, используемые при расчете и проектировании гидропривода литьевой машины, входят параметры формирования, определяющие весь комплект гидродинамических процессов при течении полимеров в каналах формующих элементов.

По данным работы [1], удельное давление инъекции, создаваемое гидроцилиндром привода литьевой машины, находится в широком диапазоне ($58,8-245 \frac{\text{Мн}}{\text{м}^2}$), зависит от реологических свойств полимера и степени его предварительной пластификации. Однако для ряда полимеров может быть снижено до $23,5-41,2 \frac{\text{Мн}}{\text{м}^2}$.

Требования простоты аналитических расчетов параметров формования литьевых машин и автоматизации процессов литья приводит к тому, что для решения уравнений движения полимеров в формующих элементах применяют приближенные методы решения и допущения. Данные методы и допущения не искажают основные закономерности течения и незначительно снижают точность математического описания, но существенно упрощают расчет параметров формирования.

Математическому описанию процессов течения аномально – вязких сред в каналах формующего оборудования посвящено ряд исследований [2-5], основная проблема которых заключается в обоснованном выборе и использовании реологических уравнений состояния для конкретных материалов. Данные уравнения, позволяющие установить функциональную связь между расходом и перепадом давлений в зависимости от формы их записи, должны также гарантировать приемлемую инженерную точность расчетов.

В связи с этим, целью настоящей работы является определение факторов, вызывающих дополнительные потери энергии при стабилизированном течении, а также, экспериментальные исследования реологических свойств ряда растворов полимеров и определение напорно-расходных характеристик описывающих гидродинамику потока в каналах формующих элементов.

Для этого целесообразно привести уравнения движения аномально-вязкой жидкости в прямоугольных каналах к условиям данной задачи и выяснить причины приводящие к дополнительным потерям давления, поскольку потери при инерционном течении существенно превышают потери энергии при стабилизированном течении. При этом принимая следующие предположения:

- течение жидкости в канале стационарное – члены, содержащие производные по времени равны нулю;
- течение двухмерное (пренебрегаем влиянием боковых стенок канала на процесс течения)
- опускаем члены, содержащие составляющую скоростей U и ее производных.
- течение изотермическое.

После приведенных допущений математическая постановка задачи инерционного течения вязкой и аномально-вязкой жидкости в канале приводит к системе дифференциальных уравнений, включающих в себя уравнения движения и неразрывности:

$$\rho \left(U_x \frac{\partial U_x}{\partial x} + U_x \frac{\partial U_x}{\partial y} \right) = \rho F_x - \frac{\partial P}{\partial x} + \left(\frac{\partial \tau_{xx}^*}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} \right) \rho, \quad (1)$$

$$\rho \left(U_x \frac{\partial U_y}{\partial x} + U_y \frac{\partial U_x}{\partial y} \right) = \rho F_y - \frac{\partial P}{\partial y} + \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau^*}{\partial y} \right) \rho, \quad (2)$$

$$\frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_y}{\partial y} = 0,$$

где ρ - плотность жидкости; x, y продольная и поперечная координата канала; U_x, U_y составляющие скорости; $\rho F_x, \rho F_y$ - массовые силы; τ_{xx}^*, τ_{yy}^* - нормальные напряжения, определяемые выражениями $\tau_{xx}^* = 2\mu \frac{\partial U_x}{\partial x}$ и $\tau_{yy}^* = 2\mu \frac{\partial U_y}{\partial y}$; μ - динамическая вязкость.

Следовательно, потери давления на входе участка инерционного течения будут определяться следующим уравнением.

$$\frac{\partial P}{\partial x} = -\rho F_x - \rho \left(U_x \frac{\partial U_x}{\partial x} + U_y \frac{\partial U_x}{\partial y} \right) + \left(\frac{\partial \tau_{xx}^*}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} \right) \rho$$

где P - давление жидкости.

Из данного уравнения видно, что потери энергии на исследуемом участке течения объясняются следующими факторами:

- потерями энергии сил вязкого трения $\frac{\partial \tau_{xx}^*}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y}$;
- потерями давления за счет действия сил инерции.
- $-\rho U_x \frac{\partial U_x}{\partial x}$ составляющей сил инерции, расходуемой на деформацию поля скоростей в осевом направлении;
- $-\rho U_y \frac{\partial U_x}{\partial y}$ составляющей сил инерции, расходуемой на радиальное перемещение частиц жидкости в потоке.

Влияние данных факторов на перепад давления $\left(\frac{\partial P}{\partial x} \right)_{ин}$ не одинаково и зависит от реологических свойств жидкости, степени инерционности потока, определяемой геометрией канала.

Выражения для определения потерь давления для рассматриваемого течения можно представить как потери давления, обусловленные поверхностным трением при стабилизированном течении, и дополнительными потерями энергии, связанными со структурой потока, т.е. наличием сил инерции,

$$\left(\frac{\partial P}{\partial x} \right)_{ин} = \left(\frac{\partial P}{\partial x} \right)_{cm} + \left(\frac{\partial P}{\partial x} \right)_{оон}, \quad (3)$$

где член $\left(\frac{\partial P}{\partial x} \right)_{cm}$ может быть получен из выражения (4), т.е.

$$\left(\frac{\partial P}{\partial x} \right)_{cm} = -\rho F + \left(\frac{\partial \tau_{xx}^*}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} \right).$$

Тогда дополнительные потери давления, связанные с проявлением сил инерции, определяются зависимостью

$$\left(\frac{\partial P}{\partial x} \right)_{оон} = -\rho \left(U_x \frac{\partial U_x}{\partial x} + U_y \frac{\partial U_x}{\partial y} \right). \quad (4)$$

Определение величины второго слагаемого $\left(\frac{\partial P}{\partial x} \right)_{оон}$ в выражении (4) осуществляется экспериментальным путем.

Потери давления по длине прямоугольного канала для установившегося стабилизированного течения вязкой жидкости можно представить

$$\left(\frac{\partial P}{\partial x} \right)_{cm} = \frac{\lambda}{H} \frac{\rho U_{xcp}^2}{2}, \quad (5)$$

где λ - коэффициент гидравлического трения; H - высота канала; V_{xcp} - средняя скорость.

Таким образом, после подстановки выражения (5) в (3) окончательно получаем зависимость для определения потерь давления для инерционного течения вязкой жидкости в прямоугольном канале.

$$\left(\frac{\partial P}{\partial x} \right)_{ин} = \frac{\lambda}{H} \frac{\rho U_{xcp}^2}{2} - \rho \left(U_x \frac{\partial U_x}{\partial x} + U_y \frac{\partial U_x}{\partial y} \right).$$

Данная зависимость позволяет выразить потери энергии, связанные с инерционным течением через общепринятый для стабилизированного ламинарного течения ньютоновской жидкости коэффициент сопротивления λ .

Выполнив сравнение различных членов уравнений движения (1) и (2) пренебрегаем членом $\frac{\partial U_x}{\partial x}$. Кроме того, принимая $\frac{\partial P}{\partial y} = 0$, так как $\frac{\partial P}{\partial y} \ll \frac{\partial P}{\partial x}$, будем считать, что давление является функцией только осевой координаты $P = f(x)$.

Согласно вышеприведенной оценке членов можно пренебречь количеством движения в направлении оси канала, то $\frac{\partial \tau_{xx}^*}{\partial x} = 0$.

Касательные напряжения, входящие в уравнение (1)

$$\frac{\partial \tau_{xy}^*}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial U_x}{\partial y} + \frac{\partial U_y}{\partial x} \right) \right] = \mu \left(\frac{\partial U_x}{\partial y^2} + \frac{\partial U_y}{\partial x \cdot \partial y} \right). \quad (6)$$

где μ - динамическая вязкость.

При $\frac{\partial U_y}{\partial x \cdot \partial y} = 0$, выражение для касательного напряжения вязкой жидкости в канале будет:

$$\tau_{xy} = \mu \frac{\partial U_x}{\partial y}.$$

В случае неньютоновской жидкости μ не может быть вынесено из под знака производной в выражении (6) и, следовательно,

$$\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial U_x}{\partial y} \right).$$

Для псевдопластичной ($n < 1$) или дилатантной ($n > 1$) среды можно получить зависимость, связывающую напряжение сдвига и скорость сдвига, т.е. степенной закон Освальда де Вилля

$$\tau_{xy} = K \left(\frac{\partial U_x}{\partial y} \right)^n,$$

где K - консистентная постоянная; n - индекс течения. Кроме действия инерционных сил на величину потерь давления на участках нестабилизированного течения формующих элементов литьевой машины оказывают влияние и реологические свойства движущей среды. Как показали экспериментальные исследования [6], эффект неньютоновского поведения среды на величину дополнительного параметра выражен довольно резко, за счет влияния вязкости жидкости на процесс деформации эпюры скоростей на рассматриваемом участке. И, следовательно, безразмерный коэффициент кинетической энергии

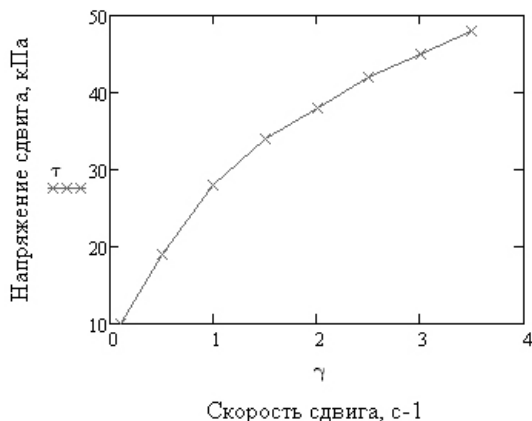


Рис. 1. Зависимость напряжения сдвига от скорости сдвига раствора ТПФН

$\frac{\partial P}{0,5 \rho U_{xcp}^2}$ может быть принят, с приемлемой для практических расчетов степенью точности, линейной функцией индекса течения в указанном интервале изменения n .

Таким образом, потеря давления при течении вязких и аномально-вязких жидкостей на участке нестабилизированного течения в формующих элементах целесообразно определять по формуле:

$$\Delta P = L_n \frac{\lambda U_{xcp}^2}{2gH} + N \frac{U_{xcp}^2}{2g}, \quad (7)$$

где L_n - длина участка нестабилизированного течения;

N - параметр, значение которого зависит от условий входа в канал и индекса течения.

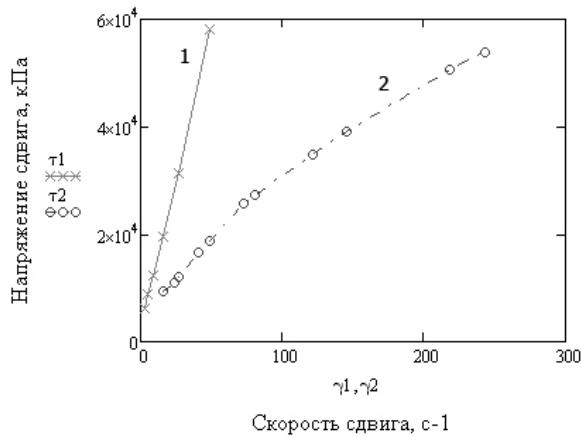


Рис. 2. Зависимость напряжения сдвига от скорости сдвига
1 - Раствор КМЦ - 8%
2 - Раствор ПВС - 8%

каналах формирующих элементов.

Объектом исследования являлись водные растворы натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ), поливинилового спирта (ПВС) и триполифосфата натрия (ТПФН).

В связи с тем, что расчетная зависимость (7), полученная на основании анализа уравнений движения, учитывает аномальное поведение материала применяемого в рассматриваемом технологическом процессе, то для моделирования выбирались жидкости, проявляющие те же особенности механического поведения, т.е. псевдопластичность.

Сделанный выбор исследуемых жидкостей был продиктован еще и тем, что данные растворы позволяют получить достаточно большой диапазон изменения индекса течения, легкостью их приготовления, кроме того, они не токсичны, не огне и взрывоопасны. Для исследуемых растворов были получены реограммы (рис. 1, 2) показывающие их явный неньютоновский псевдопластичный характер течения.

Графическое представление данных вискозиметрических измерений в логарифмических координатах в виде выражения $\tau = f(\gamma)$ имеет

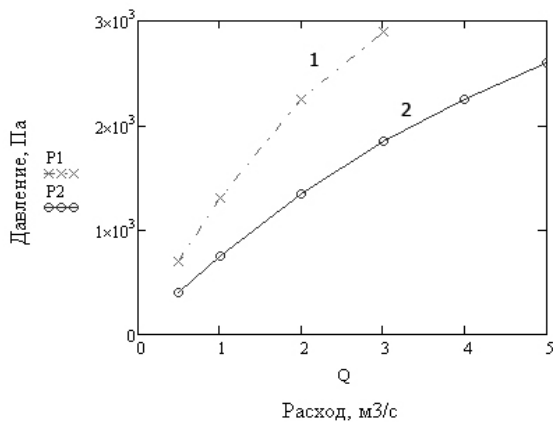


Рис. 4. Зависимость перепада давлений от расхода
1- 5% раствор КМЦ
2- 4% раствор КМЦ

Данная формула наиболее полно учитывает влияние всех причин, сказывающихся на потерях давления при нестабилизированном течении в канале прямоугольной формы.

Реологические исследования проводились с использованием ротационного вискозиметра типа «Реостат -2.1» и автоматического капиллярного вискозиметра «АКВ-2м». Погрешность измерений составила 10-12% в зависимости от типа измерительного устройства. Для определения зависимости напряжения сдвига τ от скорости сдвига γ [$\tau = f(\gamma)$] полученные экспериментальные данные обрабатывались согласно методике [7]

Данные вискозиметры позволяют получать достаточную реологическую информацию в диапазоне скоростей сдвига перекрывающего значения существующие в

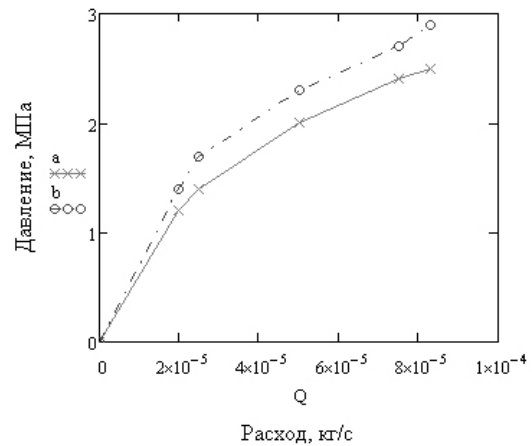


Рис. 3. Зависимость перепада давлений от расхода в капиллярном канале растворов ТПФН
а-Длинный канал
б-Короткий канал

прямолинейный характер и в диапазоне трех десятичных порядков изменения γ может быть аппроксимировано прямой $\lg \tau = \lg K + n \lg \gamma$, потенцирование которой дает степенной реологический закон вида $\tau = K\gamma^n$.

На рис. 3, 4 представлена зависимость перепада давлений ΔP от расхода Q при течении исследуемых растворов полимеров в капиллярах вискозиметра с диаметром отверстия 0.006 м и длинами соответственно $l_k = 0.035$ м и $l_k = 0.025$ м.

Проведенные исследования позволили определить гидродинамические особенности течения аномально-вязких сред в каналах формирующих элементов машины для литья под давлением. Получить расчетную зависимость для определения потерь давления при нестабилизированном течении и построить напорно-расходные характеристики потока. Данные результаты будут использованы при расчете гидропривода машины для литья под давлением.

Список литературы

1. Завгородний В.К. Механизация и автоматизация переработки пластических масс.-«Машиностроение», 1970. – 596 с.
2. Мак – Келви Е. Переработка полимеров.-М.: Мир, 1967. – 318 с.
3. Торнер Р.В. Теоретические основы переработки полимеров.-М.: Химия, 1984.- 464 с.
4. Каминер А.А., Яхно О.М. Гидромеханика в инженерной практике. – К.: Техніка, 1987.- 175 с.
5. Каплун Я.Б., Ким В.С. Формующее оборудование экструдеров.- М.: Машиностроение, 1969.- 148с.
6. Яхно О.М., Носко С.В. Влияние условий входа на ламинарное течение аномально-вязкой жидкости в начальном участке канала. «Гидравлика и гидротехника», 1980, вып. 31, с.26-30.
7. Виноградов Г.В., Прозоровская Н.В. Исследование растворов полимеров с помощью капиллярных вискозиметров. // Пластические массы.-1964, №5-с.50-57.

УДК 539.432

А.С. Цыбенко¹ д-р техн.наук, Н.Г. Кришук¹ д-р техн.наук, И.П. Дуравкин² канд.техн.наук
1-НТУ Украины «Киевский политехнический институт», г.Киев, Украина
2-ООО «СГС Плюс» г.Севастополь, Украина

АЛГОРИТМ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПАРОПРОВОДОВ ТЭС ДЛЯ СВЕРХПАРКОВОГО ПЕРИОДА ЭКСПЛУАТАЦИИ

Запропонована критеріальна методика і розроблений алгоритм розрахунково-експериментального індивідуального експертного обстеження з метою визначення залишкового ресурсу головних паропроводів (ГП) ТЕС з надпарковим терміном експлуатації. За критерії оцінки залишкового ресурсу прийнята допустиме напруження для жароміцних сталей із стабілізованими властивостями, граничні величини мікропошкодженості, а також граничні значення зернограничної деформації повзучості в елементах ГП.

A criterion method is offered and the algorithm of calculation-experimental individual expert inspection is developed with the purpose of determination of remaining resource of steam pipeline (SP) warmly the power station with the superpark term of exploitation. For the criteria of estimation of remaining resource accepted possible tension for heatproof staley with the stabilized properties, maximum sizes of damageability, and also maximum values of deformation of creep in the elements of SP.

Проблема надежной и безопасной эксплуатации ТЭС Украины осложняется невозможностью демонтажа и замены выработавших ресурс элементов главных паропроводов (ГП) в условиях дефицита резерва маневренной мощности, основу которой составляют ТЭС. Единственным практически реальным способом продления срока службы ГП является их ремонт и реконструкция на основе анализа фактических данных технической диагностики и экспертных заключений [1, 2].

Система технической диагностики определяется совокупностью различных методов и средств контроля котлотурбинного оборудования ТЭС на всех стадиях его изготовления и эксплуатации, а также наличием квалифицированных специалистов, имеющих соответствующую подготовку и осуществляющих диагностику по правилам, установленным соответствующей нормативно-технической документацией [3, 4].

Техническая диагностика в процессе эксплуатации ГП ТЭС осуществляется для проверки работоспособности, выявления дефектов, изменений технологических режимов и технического состояния, а также условий взаимодействия с окружающей средой. Такой контроль, помимо диагностических обследований с применением технических средств, может включать прогнозирование остаточного ресурса, оценку опасности (риска) дальнейшей эксплуатации, выводы о необходимости ремонта или реконструкции, определение срока, типа и объема ремонтных работ.

Анализ литературы [1-6] показывает, что прогнозирование остаточного ресурса ГП ТЭС со сроком эксплуатации, превышающим парковый, представляет собой многофакторную задачу определения предельно допустимого состояния их работоспособности [1]. В настоящее время не выработаны обоснованные критерии предельно допустимого состояния элементов ГП, находящихся в эксплуатации более 200 тысяч часов, а также методы прогнозирования остаточного ресурса с необходимой достоверностью [2].

Используемые на практике методы оценки работоспособности ГП для паркового периода эксплуатации включают [1-4]: нахождение номинальных напряжений от давления пара для текущих величин геометрических параметров конструктивных элементов ГП [7]; измерения давления и температуры перегретого пара, подаваемого на