

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОКА В КАНАЛАХ ЛИТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ, МЕТОДАМИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Приведені експериментальні дослідження кінематичних характеристик аномально-в'язких рідин в каналах з різко-змінною геометрією методами візуалізації. Даний метод дозволив, без "втручання" в потік рідини отримати реальну картину нестабільної течії, зон та областей вихрутворення. Наведені розрахункові залежності та визначено взаємозв'язки між конструктивними і технологічними параметрами ливарної системи.

By the methods of visualization shown experimental researches of kinematics descriptions of anomalously-viscid liquids in channels with sharply-variable geometry. This method allowed, without "interference" in the flow of fluid to get the real picture of the unstable flow zones and areas vortex formation. Shown calculation dependences and intercommunications between the structural and technological parameters of the casthouse system.

Введение.

Процесс получения металлической отливки, все производственные операции, начиная с заливки жидкого металла из плавильно-раздаточной печи в литниковую систему, гидродинамические условия входа в стояк, и на конец, обеспечение равномерной подачи металла в литниковую полость, связаны со сложными гидродинамическими задачами [1].

Особую трудность при конструировании и инженерном расчете представляет горизонтальная часть литниковой системы, соединяющая стояк с литейной формой. Здесь течение металла, происходит в каналах сложной конфигурации с наличием местных сопротивлений. Участки литникового канала, расположенные между местными сопротивлениями сравнительно короткие и недостаточны для образования стационарного течения.

Следует так же учитывать, что процесс течения происходит с переменной вязкостью, вследствие падения температуры металла, и поток в исследуемой области является нестационарным как в гидравлическом, так и в тепловом отношении.

Исследование математических моделей процессов литья, качественное и количественное описание гидродинамических особенностей течения металла связана с математическими трудностями, а также проблемами, вызванными спецификой данного технологического процесса – его неизотермичностью, сложными физико-химическими и реологическими свойствами металла, наличием каналов с резким изменением поперечного сечения приводящих к появлению инерционных течений, зон “давления разряжения” в потоке.

В связи с этим, при расчете и проектировании литниковых систем, большое значение имеют экспериментальные исследования и обоснованные на их результатах инженерные методики расчета.

Целью данной работы является разработка методики расчета элементов литниковой системы основанной на результатах численного решения уравнений движения, описывающих нестабилизированное течение [2] и экспериментальных данных полученных методами визуализации.

Методика экспериментальных исследований.

Для изучения структуры потока до и после местных сопротивлений был применен метод визуализации заключающийся в фоторегистрации, введенных в поток и освещенных импульсным источником света частиц-меток. В качестве визуализирующих использовался алюминиевый порошок, предварительно подготовленный и разделенный на фракции по гидравлической крупности согласно методике, приведенной в работе [3].

Для уменьшения количества измерений и получения качественной картины распределения скоростей по сечению необходимо определить необходимую концентрацию K_m частиц-меток в потоке.

Используя понятие математического ожидания [4] получим зависимость для определения среднего расстояния между частицами-метками в потоке l_{cp} :

$$\Theta_m = l_{cp} \cdot \frac{(\delta_{cp}^2 - 1)}{3\delta_{cp}} = \frac{l_k}{3} \left(\frac{1}{\delta_{cp}} \right) \quad (1)$$

где δ_{cp} – среднее количество частиц-меток в потоке;

l_k – расстояние между крайними частицами.

После введения величин K_i , δ_i , q_i значение l_{cp} для i – той линии тока принимает вид:

$$l_{i\text{cp.}} = \frac{1}{K_i} \cdot \frac{1}{q_i} \cdot \exp r_0^{b_i} \frac{z}{q_i} \quad (2)$$

где K_i – коэффициент высокой концентрации;
 δ_i – количество частиц в заданном объеме;
 q_i – концентрация частиц по i -той линии тока;
 r_0 – гидравлическая крупность;
 b_i – величина равная $0,4 (\tau/\rho)^{0,5} \cdot z (1 - z/k)$.

Считая, что для произвольного значения координаты z , количество частиц-меток в потоке будет равна:

$$\delta_z = \delta_i \cdot u_x \cdot t_0 \cdot \varepsilon_0 \quad (3)$$

где u_x – составляющая скорости в направлении оси;
 t_0 – время между импульсами источника света;
 ε_0 – геометрический параметр дискового затвора.

Проведя преобразования выражений (1) и (2) окончательно получим упрощенное выражение:

$$\Theta_m = \frac{\varepsilon_0 \cdot t_0 \cdot U_x}{3} \quad (4)$$

Для измерения локальных скоростей в потоке применялся метод двойной вспышки. Для освещения траекторий частиц-меток в потоке использовались импульсные лампы, дающие одиночные световые вспышки определенной длительности и включающиеся при помощи программного генератора (ПГ) через установленный интервал времени. Программный генератор обеспечивает выдачу двух “команд” для последовательного срабатывания импульсных ламп с наперед заданным интервалом времени в пределах от 1 мсек до 2047 мсек.

Функциональная схема разработанного программного генератора представлена на рис. 1.

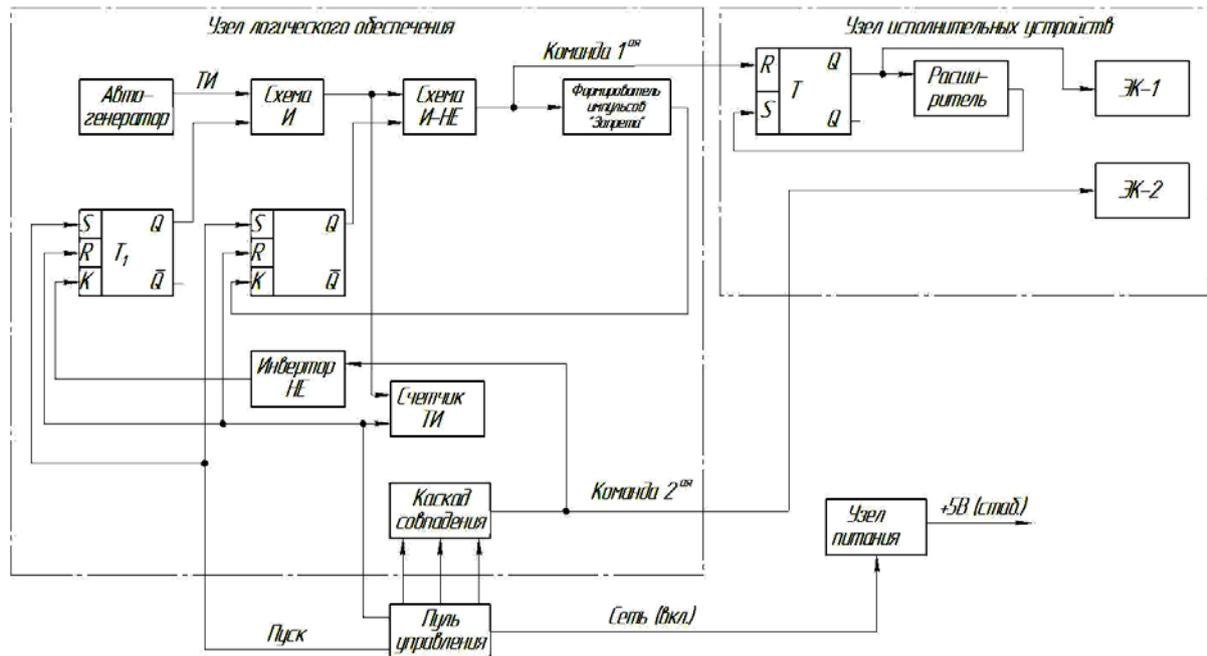


Рис. 1. Функциональная схема программного генератора

Основная погрешность длительности временных интервалов между вспышками составляет от 0,1% до 1%, в начале рабочего диаметра ПГ и $5 \cdot 10^{-3}\%$, в конце рабочего диапазона (2,047сек).

Программный генератор (ПГ) состоит из четырех основных функциональных узлов: логического обеспечения (УЛО), исполнительных устройств (УИУ), питания (УП) и панели управления (ПУ).

При нажатии кнопки “ПУСК” на ПУ, соединенной при помощи синхрорпровода с фотоаппаратом (его пусковой кнопкой) происходит открытие шторки фотоаппарата и одновременно замыкается цепь устройства освещения, срабатывает первая импульсная лампа. Далее через установленный интервал времени происходит включения второй импульсной лампы.

Таким образом, за полный цикл работы устройства двойной вспышки частица-метка, движущаяся в потоке, регистрировалась на фотопленке и представляла собой два “кометообразных” трека с четко определенными

началами. Расстояние между отмеченными положениями для любой пары треков являются путями за известный промежуток времени, с учетом масштаба увеличения.

Материалы исследований.

Учитывая сложность законов деформации перегретого металла в каналах литниковой системы и влияние их на технологические параметры процесса литья, были использованы данные работы [1] и приняты следующие реологические модели: для перегретого металла – ньютоновский реологический закон, а при наличии не растворенных частиц – реологический закон Бингама.

В связи с этим, в качестве модельных жидкостей использовались вода, и водные растворы натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ), поливинилового спирта (ПВС) различной концентрации, обладающие аномалией вязкости.

В результате экспериментальных исследований была получена картина течения водных растворов на участке предшествующему внезапному сужению канала – литниковый дроссель (рис.2). Длина данного участка определяется зависимостью вида:

$$L_n = K_n \cdot K_0 \cdot Re \cdot D_{пр}, \tag{5}$$

где K_n – коэффициент, учитывающий реологические свойства среды (табл.1);

K_0 – коэффициент сужения канала;

Re – число Рейнольдса;

$D_{пр}$ – приведенный диаметр канала.

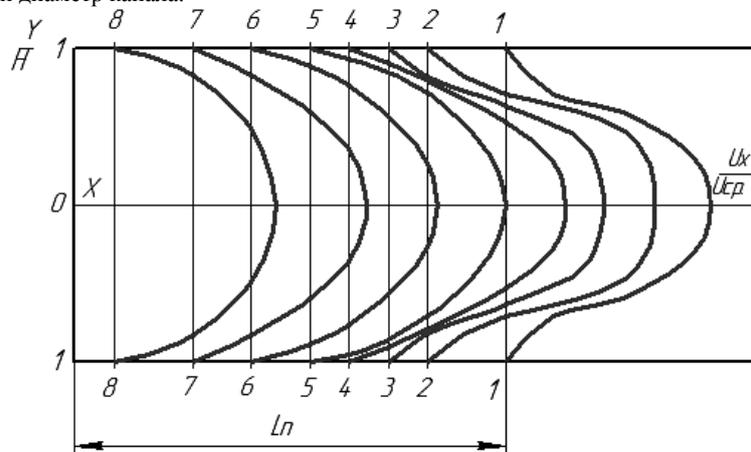


Рис. 2. Картина деформации эпюры скоростей на предначальном участке прямоугольного канала при течении 2% раствора ПВС ($Re = 590$)

Таблица 1

Значения коэффициента K_n в водных растворах для определения длины первоначального участка

Исследуемая Жидкость	Re	K_0	$K_n \cdot 10^3$	Исследуемая Жидкость	Re	K_0	$K_n \cdot 10^3$
Поливиниловый спирт 2 %-й р-р	214-2190	3	1,486	Карбоксиметил- целлюлоза 3 %-й р-р	268-1884	3	1,647
	252-2064	2	1,204		270-1920	2	1,302
4 %-й р-р	312-1970	3	1,523	5 %-й р-р	342-1928	3	1,699
	308-1972	2	1,288		478-1820	2	1,455

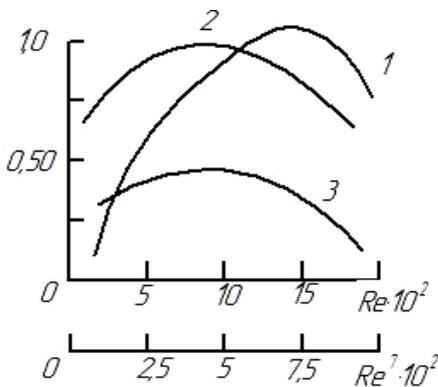


Рис. 3. Зависимость Безразмерной величины области вихреобразования L_n от числа Рейнольдса для различных сред: 1 – вода; 2 – ПВС (2%-й раствор); 3 – ПВС (4%-й раствор)

Перепад давления на данном участке представленный в критерии Эйлера, при течении аномально-вязкой среды с индексом течения $n = 0,8$ вычисляется по формуле:

$$E_u = \left(\frac{1}{Re}\right) [354,60 + 822,84(R_e')^{-0,32}], \tag{6}$$

где R_e' - обобщенное число Рейнольдса.

Область местных сопротивлений (литниковый дроссель, шлакоулавитель). – обеспечивает переход металла по каналу литниковой системы в рабочую полость формы. В этой зоне процесс течения металла связан со сложной деформацией поля скоростей и напряжений, образованием застойных зон и вихревых областей. Наличие данных областей во многом определяют гидродинамический режим формования отливки создает кинетику заполнения, характер распределения включений в отливке, очистке потока металла от шлака и качество рельефа ее поверхности. Размеры вихревых областей зависят от геометрических параметров местного

сопротивления, реологических свойств движущейся жидкости и числа Рейнольдса (рис.3).

В общем случае данная функциональная зависимость имеет следующий вид:

$$L_B = K_0 \cdot Re \cdot D_{np}^{a_b} \quad (7)$$

где a_b = коэффициент, учитывающий реологические свойства среды, значение которого приведены в табл.2.

Таблица 2

Определение коэффициента a_b , учитывающего реологические свойства растворов сред. *Исследования велись при внезапном расширении ($K_0=0,33$), остальные – при внезапном сужении ($K_0=3$).

Исследуемая жидкость	Re	a_b	Исследуемая жидкость	Re	a_b
Поливиниловый Спирт 2 %-й р-р (псевдопластик) 4 %-й р-р	200-830	0,617	Карбоксиметил- целлюлоза 5 %-й р-р 8 %-й р-р	244-900	0,609
	360-800	0,604		208-1210	0,992
Карбоксиметилцеллюлоза 2 %-й р-р (псевдопластик)	210-924	0,645	1,5 %-й р-р* 4 %-й р-р*	240-984	0,971

В зависимости от конструктивного решения той или иной литниковой системы длина канала между дросселем и шлакоуловителем может быть разной, но, как правило, недостаточной для гидродинамической стабилизации потока возмущенного внезапным сужением (дросселем). Эпюра скоростей на этом участке деформируется от некоторой, описываемой формулой:

$$U_x = (Y) = \frac{n_1 + 1}{n_1} U_{x\phi} \left[1 - \left(\frac{Y}{H} \right) \right], \quad (8)$$

где n_1 – безразмерная постоянная, зависящая от геометрии входного сечения, реологических свойств жидкости и принимающая значение от 1 до 10^5 ;

H – высота канала.

Характер изменения давления по длине данного участка приведен на рис.4.

Далее на участке после шлакоуловителя происходит деформация поля скоростей как на гидродинамическом начальном участке.

Протяжность участка дестабилизированного течения определяется выражением:

$$L_n = C_n \cdot Re \cdot D_{np}, \quad (9)$$

где C_n – постоянная, зависящая от условий входа в канал и реологических свойств жидкости (для ньютоновской жидкости с равномерным распределением скоростей на входе, $C_n = 0,16$).

Выводы.

На основании экспериментальных исследований установлены закономерности течения в рассматриваемых областях литниковой системы, определены размеры застойных зон и выхребований, ярко выраженных участков дестабилизированного потока. Определены взаимосвязи между конструктивными и технологическими параметрами оборудования, что позволило разработать методику расчета.

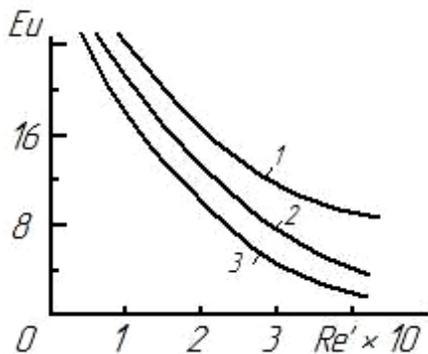


Рис. 4. Зависимость $Eu = f(Re')$ при течении 3%-го раствора ПВС в области внезапного сужения канала ($K_0 = 3$) с различными значениями угла входа: 1 – острые кромки; 2 – угол входа 45°; 3 – лемниската

Список литературы.

1. Белопухов А.К. Технологические режимы литья под давлением. М.: Машиностроение. 1985. – 267с.
2. Юфин А.И. Гидромеханизация. М.: Стройиздом, 1985. – 631с.
3. Гнеденко В.В. Курс теории вероятностей. М.: Наука, 1965. – 400с.
4. Яхно О.М., Носко С.В. Влияние условий входа на ламинарное течение вязкой жидкости в начальном участке канала. / Гидравлика и гидротехника. – 1980, №31, - с. 67-73.