



Analytical methods of calculation of the non-metallic particle run-length in geometrical system "stand pipe-running channel", allowing to evaluate the dynamics of the particle movement on its parameters on qualitative level, is offered. The results of calculations of run-length carried out on real gating systems for non-metallic particles of different density are presented.

А. Н. ЧИЧКО, В. Ф. СОБОЛЕВ, Т. В. МАТЮШИНЕЦ, С. Г. ЛИХОУЗОВ,
О. И. ЧИЧКО, Ф. С. ЛУКАШЕВИЧ, БНТУ

УДК 669.27:519

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ И ИХ ДЛИНЫ ПРОБЕГА В ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМАХ

Анализ литературных данных, посвященных литниковым системам, показывает, что общепринятых математических моделей для анализа движения неметаллических частиц в расплавах до сих пор нет [1, 2].

На рис. 1 приведены различные методы и подходы, которые используются при проектировании литниковых систем. Основным методом расчета литниковой системы, который по-прежнему составляет основу учебных пособий, остается методика Озанна-Диттерта.

Традиционная схема расчета параметров литниковой системы представлена на рис. 2.

Недостатком этого метода является невозможность оценить и выбрать пространственные размеры литниковой системы. Фактически весь расчет сводится к пересчету по отношениям сечений стояка и шлакоуловителя, используя найденное сечение питателя литниковой системы с учетом номенклатуры отливки. В заводской практике наиболее развит метод прототипирования, основанный на уже апробированных, в рамках номенклатуры предприятия, литниковых системах. Однако и он не дает возможности выбрать оптимальную литниковую систему, так как даже близкие в пространственном отношении отливки могут существенно различаться по процессу заполнения и кристаллизации металлом формы из-за

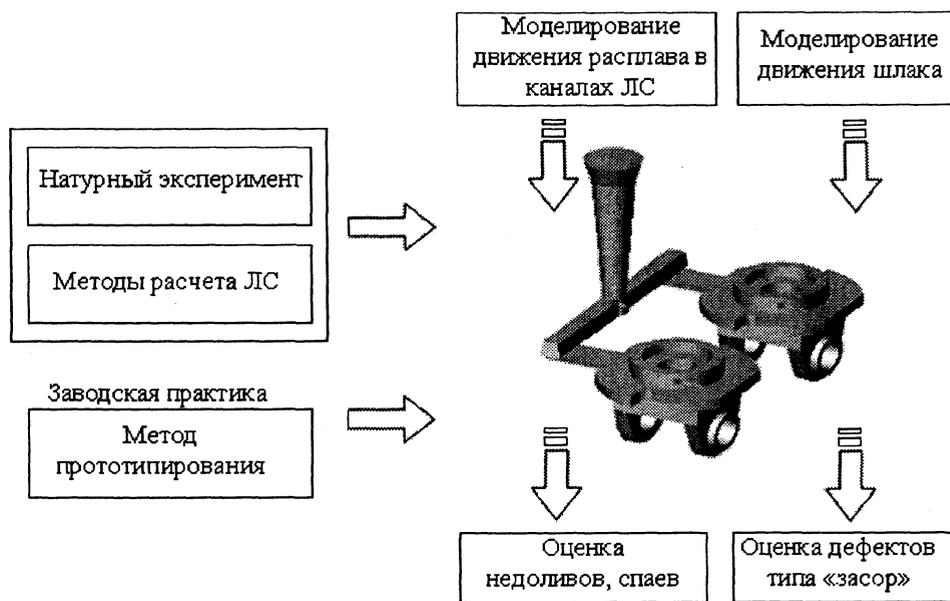


Рис. 1. Методы и подходы, используемые при проектировании литниковых систем

особенностей конфигурации отливки. Развитие вычислительной техники позволило развивать компьютерные технологии, что дало новые возможности для выбора и оценки влияния литниковой системы на процесс кристаллизации металла и заполнение им формы.

Наиболее полное решение задачи о движении неметаллических частиц в литниковой системе и отливке можно получить, используя математические модели, основанные на уравнении Навье-Стокса, уравнении неразрывности и уравнении энергии движущегося потока расплава [3, 4]. Следует отметить, что аналитические оценки движения шлаковых частиц в литниковых системах также представляют теоретический и практический интерес для выявления физической картины всего процесса течения гетерогенной смеси в

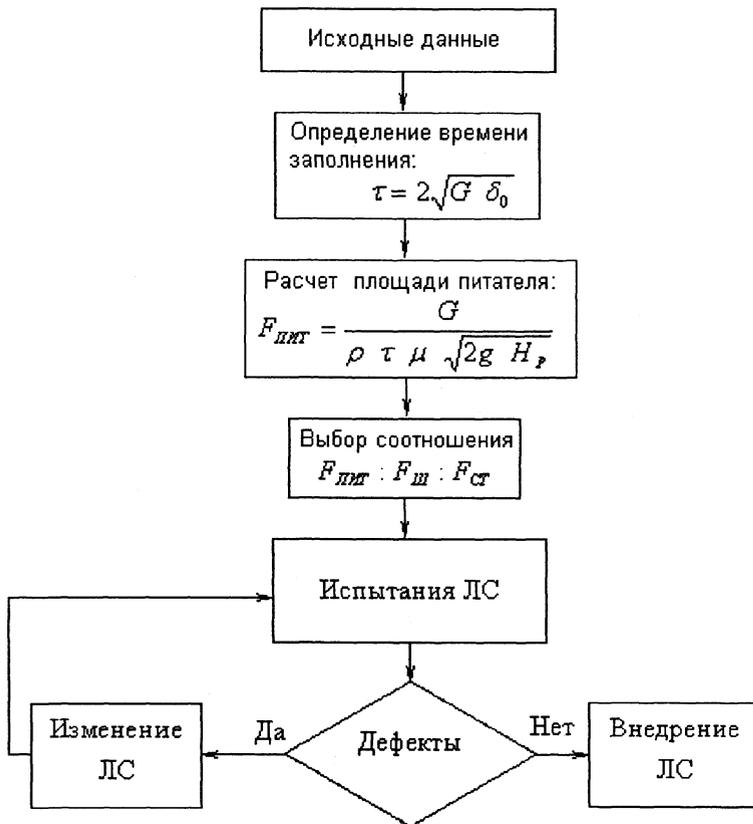


Рис. 2. Классическая схема расчета литниковой системы по методике Озан-Диттерга

расплаве. Разгон частиц за счет их кинетической энергии в стояке литниковой системы и сила Архимеда, действующая на частицу, являются важными факторами, определяющими динамику перехода неметаллических частиц в отливку и процесс их улавливания.

При рассмотрении движения неметаллических частиц в литниковых системах важным параметром является расчет длины пробега, характеризующий динамику процесса улавливания неметаллической частицы. В простейшем случае анализ движения частицы можно проводить в одномерном по скорости случае, т.е. фактически используя математические модели с сосредоточенными параметрами, не учитывающими пространственное распределение поля скоростей движущегося расплава. Одномерный случай предполагает постоянство скорости расплава в выделенных сечениях литниковой системы и позволяет выявить основные особенности в поведении и движении шлаковых частиц. Следует отметить, что движение самой частицы является двумерным.

В настоящей работе использован физический подход, позволяющий упрощенно, исходя из законов движения механики, рассмотреть движение частиц в скоростном потоке, предполагая ее движение в системе отсчета, связанной с движущимся расплавом. В [3, 4] был предложен метод расчета скоростей движения неметаллических частиц в

литниковом канале. Из представленных в этих работах формул можно провести расчет длины пробега неметаллической частицы.

Предположим, что объем металла, прошедшего через питатель как самое узкое место в литниковой системе, будет равен объему металла, прошедшего через шлаковик:

$$\begin{aligned} V_{\text{п}} &= V_{\text{ш}}, \\ V_{\text{ш}} &= S_{\text{ш}} v_{\text{ш}}, \\ V_{\text{п}} &= S_{\text{п}} v_{\text{п}}, \\ S_{\text{п}} v_{\text{п}} &= S_{\text{ш}} v_{\text{ш}}, \\ v_{\text{ш}} &= \frac{S_{\text{п}}}{S_{\text{ш}}} v_{\text{п}}, \\ v_{\text{ш}} &= \frac{S_{\text{п}}}{S_{\text{ш}}} \sqrt{2gh_n}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $S_{\text{ш}}$ – площадь шлаковика; $V_{\text{ш}}$ – объем металла, прошедшего через шлаковик; $v_{\text{ш}}$ – скорость металла в шлаковике.

Длина пробега неметаллической частицы по литниковой системе за счет движения потока определяется как:

$$l = v_{\text{ш}} t_{\text{вспл}}, \quad (2)$$

где $v_{\text{ш}}$ – скорость расплава шлакоуловителя; $t_{\text{вспл}}$ – время всплытия.

Для расчета скорости частицы может быть использована формула, полученная в [3]:

$$v_{\text{ч}} = \sqrt{\frac{A e^{2\sqrt{AB}t} - 1}{B e^{2\sqrt{AB}t} + 1}}, \quad (3)$$

где $A = \left(\frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{ч}}} - 1\right)g$; $B = \frac{3}{8} \frac{\kappa_{\text{ч}} \eta}{\rho_{\text{ч}} R_{\text{ч}}}$; $\rho_{\text{ж}}$ – плотность расплава; $\kappa_{\text{ч}}$ – коэффициент, характеризующий поверхность частицы; η – динамическая вязкость жидкости; $R_{\text{ч}}$ – радиус частицы; $\rho_{\text{ч}}$ – плотность частицы; $v_{\text{ч}}$ – скорость частицы, до которой она успевает разогнаться за время прохождения потока через стояк.

Для нахождения времени всплытия частицы выберем крайний случай, когда будем рассматривать, что путь пробега частицы $h_{\text{ч}}$ равен высоте шлаковика $\Delta y_{\text{к}}$. Тогда время всплытия частицы определим как:

$$t_{\text{вспл}} = \frac{1}{\sqrt{AB}} \ln \left(1 + \frac{\sqrt{1 - e^{-2\Delta y_{\text{к}} B}}}{e^{-\Delta y_{\text{к}} B}} \right). \quad (4)$$

Используя (1), (2) и (4), получаем

$$l = \frac{S_{\text{п}}}{S_{\text{ш}}} \sqrt{\frac{2gh_{\text{к}}}{AB}} \ln \left(1 + \frac{\sqrt{1 - e^{-2\Delta y_{\text{к}} B}}}{e^{-\Delta y_{\text{к}} B}} \right). \quad (5)$$

Представляет научный интерес задача оценки параметров математических моделей движения шлаковых частиц по аналитическим формулам для литниковых систем, характеризующихся различным соотношением стояка, шлакоуловителя и питателя. Для этого в условиях литейного цеха ОАО «МЗОО» были спроектированы две литниковые системы Л1 и Л2 (рис. 3, 4). Различие литниковых систем состоит в соотношении площадей стояка, шлаковика и питателей. Для литниковой системы Л1 это соотношение составляет 0,54:1,04:1, для литниковой системы Л2 — 0,60:2,4:1.

Аналитический расчет на основании приведенных выше формул показал, что шлаковые частицы не задерживаются в стояках обеих литниковых систем, поскольку скорости потока значительно превышают скорости, которых могут достигнуть частицы при всплытии за время, проведенное ими в стояке. Результаты аналитического расчета приведены в табл. 1. Из таблицы видно, что все значения скоростей всплытия шлаковых частиц в диапазоне плотностей 2600–3000 кг/м³ не превышают скорости расплава в стояке и выносятся в шлаковик.

Для частиц, попавших в шлаковик, были рассмотрены зависимости длины пробега шлаковых частиц от высоты их всплытия. Длина пробега рассчитывалась по формуле (5) для предельного случая, в котором начальная скорость всплытия частицы равна нулю. Зависимости длины пробега шлаковых частиц для литниковых систем Л1 и Л2 представлены на рис. 5, 6.

Из рисунков видно, что в литниковой системе Л1 частица достигает полного всплытия в шлаковике на расстоянии 120–140 мм от края стояка, в то время как в литниковой системе Л2 — на расстоянии 50–56 мм в зависимости от плотности частицы. Учитывая, что питатели №3 и 4 располагаются на расстоянии 50 мм от края стояка, можно предположить, что для литниковой системы Л1 очень большая вероятность попадания частицы в эти питатели, а для литниковой системы Л2 эта вероятность крайне мала. Питатели №2 и 5 располагаются на расстоянии 140 мм от края стояка, что говорит о небольшой вероятности попадания частиц в эти питатели в литниковой системе Л1, а вероятность попадания частиц в литниковой системе Л2 близка к 0. Питатели №1 и 6 располагаются на расстоянии 230 мм от края стояка и вероятность попадания шлаковых частиц в эти питатели для обеих литниковых систем незначительна.

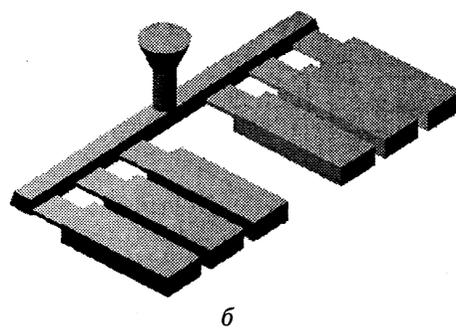
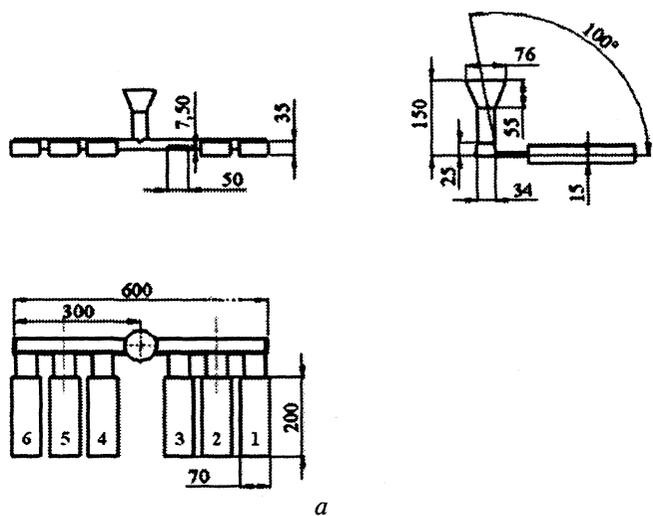


Рис. 3. Литниковая система Л1: а — эскиз литниковой системы; б — 3D-изображение литниковой системы

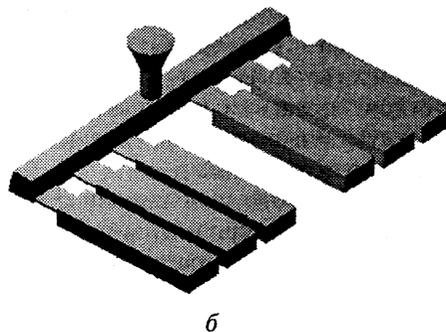
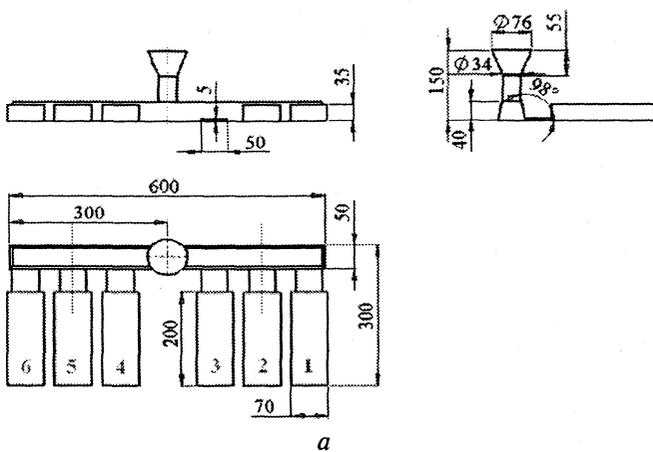


Рис. 4. Литниковая система Л2: а — эскиз литниковой системы; б — 3D-изображение литниковой системы

Таблица 1. Результаты аналитического расчета скоростей движения шлаковых частиц в стояках литниковых систем Л1 и Л2

Литниковая система	Скорость потока в стояке, м/с	Скорость частиц, м/с, при плотности, кг/м ³					
		2600		2800		3000	
Л1	4,29	0,57	2,20	0,50	2,07	0,45	1,95
Л2	2,86	0,85	2,20	0,75	2,07	0,67	1,95

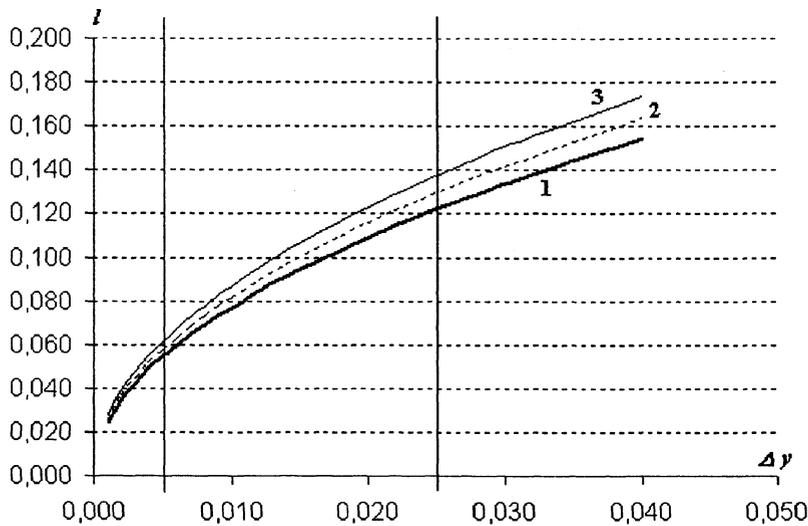


Рис. 5. Зависимость длины пробега частицы в шлаковике от высоты ее подъема для литниковой системы Л1 для плотностей частиц: 1 – $\rho=2600$ кг/м³; 2 – 2800; 3 – 3000 кг/м³

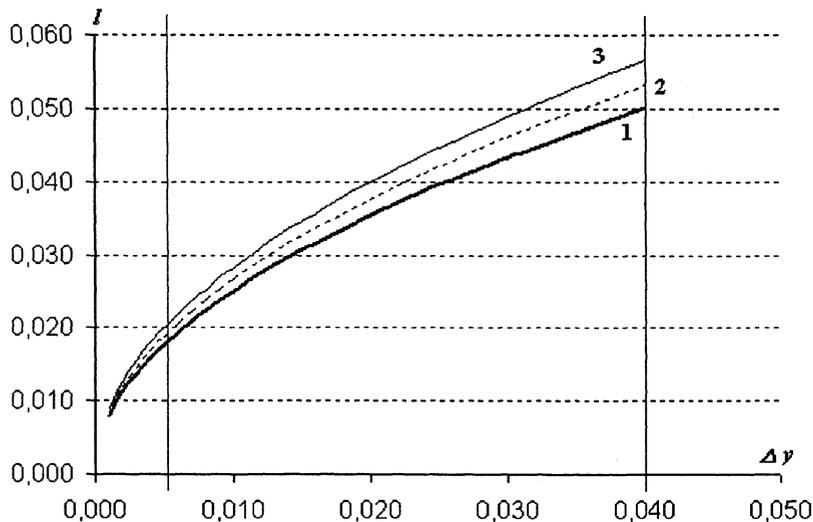


Рис. 6. Зависимость длины пробега частицы в шлаковике от высоты ее подъема для литниковой системы Л2 для плотностей частиц: 1 – $\rho=2600$ кг/м³; 2 – 2800; 3 – 3000 кг/м³

В настоящей работе была поставлена задача определения длины всплытия частиц в трех вариантах промышленных литниковых систем для отливки радиатора 2КП-90х500, изготавливаемого на ОАО «МЗОО». Внешний вид систем «отливка – литник» показан на рис. 7.

Исследование проводили с целью определения возможности использования одномерной модели с сосредоточенными параметрами для первичной оценки параметров той или иной литниковой системы с точки зрения получения качественного

литья и отсеивания нерациональных вариантов на начальной стадии проектирования.

Первая литниковая система (ЛР1) организована таким образом, что металл одновременно через три питателя попадает в три радиатора. Литниковая система не содержит глубоких каналов для шлакоулавливания, но имеет малую массу. Вторая литниковая система (ЛР2) состоит из увеличенных шлакоуловителей и более сложной системы каналов подвода металла в отливку. При этом расход металла на литниковую систему

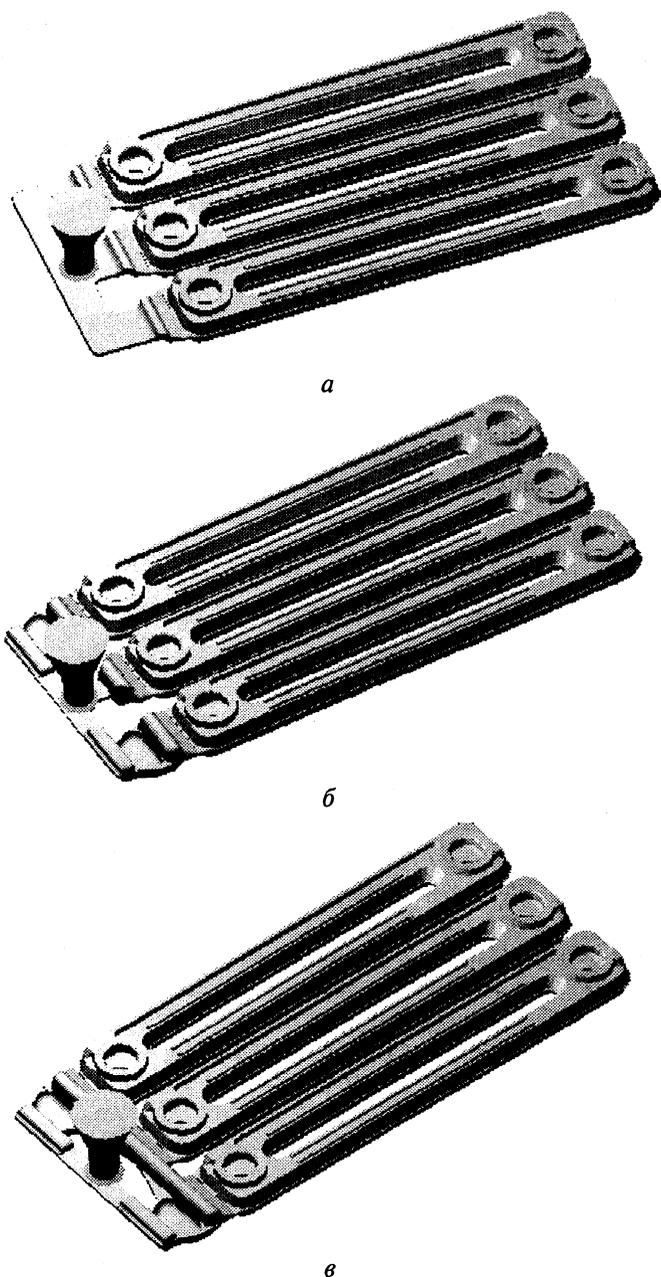


Рис. 7. Варианты литниковых систем для заполнения отливки «радиатор»: а – литниковая система ЛР1; б – литниковая система ЛР2; в – литниковая система ЛР3

увеличен по сравнению с литниковой системой ЛР1. Третий вариант литниковой системы (ЛР3) организован таким образом, что основной поток металла идет через два крайних питателя, а центральный радиатор подпитывается от двух крайних питателей.

Аналитический расчет показал, что шлаковые частицы не задерживаются в стояках трех литниковых систем, поскольку скорости потока значительно превышают скорости, которых могут достигнуть частицы при всплытии. Результаты расчета длины всплытия частицы в шлакоуловителе приведены в табл. 2.

Из таблицы видно, что наименьшая длина пробега шлаковой частицы у литниковой системы ЛР3. Практически такую же длину при разных плотностях частиц показывает и первая литниковая система, значительно им уступает литниковая система ЛР2. Сопоставляя данные таблицы с геометрическими параметрами литниковых систем, можно предположить, что наихудшие результаты с точки зрения улавливания частиц будет давать литниковая система ЛР1. Засор центральной отливки будет происходить в виду малого расстояния от стояка до места подвода металла к отливке. Засор же боковых отливок будет происходить в связи с неразвитостью каналов для шлакоулавливания несмотря на их протяженность, при этом частицы будут уноситься потоком металла в полость отливки. На втором месте по улавливанию частиц – литниковая система ЛР2. В ней будет наблюдаться засор преимущественно центральной отливки и незначительное попадание частиц в боковые отливки из-за большой длины всплытия частиц. Оптимальным среди рассмотренных, что подтверждается практическими данными, будет вариант литниковой системы ЛР3, так как наряду с малой длиной всплытия частиц в ней предусмотрены достаточно развитые каналы для шлакоулавливания и отсутствует питание центральной отливки непосредственно из стояка.

Таблица 2. Результаты расчета длины пробега частицы в шлакоуловителе до его всплытия

Литниковая система	Длина пробега частицы, мм, при плотности, кг/м ³					
	2600		2800		3000	
	радиус частицы, мм					
	1	5	1	5	1	5
ЛР1	33,06	33,20	35,15	35,29	37,31	37,46
ЛР2	43,76	43,94	46,52	46,71	49,38	49,58
ЛР3	32,25	32,39	34,29	34,43	36,40	36,52

Таким образом, модель, основанная на стационарном характере поля скоростей, исходя из соотношений стояка, шлаковика и питателей, позволяет оценить возможность попадания частицы в шлаковик или питатель без учета скоростных полей в литниковой системе. В то же время

следует подчеркнуть качественный уровень представленных расчетов. Модель, учитывающая трехмерность и динамику поля скоростей, позволит провести более точное моделирование, поскольку учитывает все особенности скоростных полей расплава в литниковой системе и отливках, а

также влияние этих скоростных полей на траекторию частицы в любой точке литниковой системы. Обе модели взаимно дополняют друг друга, обладают своими преимуществами и могут использоваться для оценки и выбора литниковых систем с точки зрения улавливания шлаковых частиц. Поскольку модель, основанная на одномерности поля скоростей, не требует сложных вычислений, то она может с успехом применяться для предварительной оценки литниковых систем, разрабатываемых для отливок, получаемых литьем в песчано-глинистые формы.

Выводы

Предложена аналитическая методика расчета длины пробега неметаллической частицы в геометрической системе «стояк – литниковый канал», позволяющая на качественном уровне

оценить динамику движения частицы от ее параметров. Представлены результаты расчетов длины пробега, проведенные на реальных литниковых системах для неметаллических частиц различной плотности.

Литература

1. Галдин Н.М., Чистяков В.В., Шатульский А.А. Литниковые системы и прибыли для фасонных отливок. М.: Машиностроение, 1992.
2. Рабинович Б.В. Введение в литейную гидравлику. М.: Машиностроение, 1966.
3. Чичко А.Н., Лукашевич Ф.С., Лихоузов С.Г., Чичко О.И. Модель динамики улавливания шлака в литниковой системе // Литейное производство. 2005. №3. С. 25–27.
4. Лукашевич Ф.С., Лихоузов С.Г., Чичко О.И. О физических условиях движения шлаковой частицы в стояке литниковой системы // Литье и металлургия. 2005. № 2. Ч. 1. С. 32–34.



О проведении VIII съезда литейщиков России и выставки "Литье-2007"

Российская ассоциация литейщиков, Правительство г. Ростов-на-Дону, Департамент промышленности Минпромэнерго России, ОАО "Ростовский литейный завод" проводят в г. Ростов-на-Дону с 23 по 27 апреля 2007 г. VIII съезд литейщиков России и Международную выставку "Литье-2007".

Съезд и выставка будут проходить в выставочном центре "Вертол Экспо" по адресу: 344068, г. Ростов-на-Дону, ул. Нагибина, 30.

Программой съезда предусмотрено проведение пленарных заседаний с докладами и сообщениями ведущих специалистов и ученых в области литейного производства России и зарубежных стран по всем переделам литейного производства, обсуждение концепций реконструкции литейных цехов и заводов на базе освоения прогрессивных технологических процессов, материалов и оборудования, организация деловых встреч, круглых столов, обмен опытом, посещение предприятий г. Ростов-на-Дону и области.

К VIII съезду планируется издание трудов. Материалы для публикации необходимо представлять в печатном и электронном видах, объемом не более 6 страниц текста и 3 рис. Текст должен быть набран в текстовом редакторе Microsoft Word, шрифт – Time New Roman. Таблицы и рисунки выполняются в виде фотографий и графических рисунков на отдельных листах.

Материалы для публикации, заявки на участие в работе съезда и выставки "Литье-2007" необходимо направлять до 1 февраля 2007 г. в Российскую ассоциацию литейщиков по адресу: 123557, Москва, Пресненский вал, 14, факс: (495) 253-5091, (495) 253-71-95 или E-mail: foundryral@mtu-net.ru.