

УДК 621.746.628.4

Т.А. Кузнецова, А.С. Ощепков, А.В. Богомягков, К.В. Шаров
T.A. Kuznetsova, A.S. Ochshepkov, A.V. Bogomyagkov, K.V. Sharov

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Perm National Research Polytechnic University

КОЭФФИЦИЕНТ РАСХОДА ЛИТНИКОВОЙ СИСТЕМЫ. ОБЗОР

DISCHARGE COEFFICIENT OF GATING SYSTEM. REVIEW

Рассмотрены способы определения коэффициента расхода литниковой системы. Обобщены рекомендации разных исследователей, приведены табличные значения и поправки для определенных случаев. Представлена методика точного расчета, основанная на законах гидравлики. Рассмотрены величины гидравлических сопротивлений наиболее распространенных элементов литниковой системы.

Ключевые слова: литниковая система, коэффициент расхода, коэффициент гидравлического сопротивления, стояк, коллектор, питатель.

The article discusses the methods of determination of discharge coefficient of gating system. The recommendations of various researchers are summarized, tabulated values and amendments are given for certain cases. Accurate calculation method, based on the laws of hydraulics, is represented. Consider the quantity of hydraulic resistance of the most common elements of the gating system.

Keywords: gating system, discharge coefficient, hydraulic resistance coefficient, sprue, collector, feeder.

Расчет геометрических характеристик литниковой системы (ЛС) начинают, как правило, с определения площади узкого сечения с помощью формулы Озанна [1]:

$$\Sigma S_p = \frac{1000M}{\mu\tau\rho\sqrt{2gH_p}},$$

где M – масса металла, заливаемого в форму, кг; μ – коэффициент расхода ЛС; τ – расчетное оптимальное время заливки, с; ρ – плотность жидкого металла, г/см³; g – ускорение силы тяжести, см/с²; H_p – расчетный напор, см.

При расчете узкого сечения литниковой системы по этой формуле, необходимо знать величину коэффициента расхода μ . Этот коэффициент показы-

вают отношение фактического расхода жидкости к расходу при течении без гидравлических потерь. Расчетное определение этого коэффициента связано с рядом сложностей. При расчете требуется использовать данные справочников по гидравлике, но в гидравлических расчетах уже известны геометрические характеристики трубопроводов (чем и является литниковая система), а в литейном производстве их надо определить. Получается, что мы должны сначала задаться приближенным значением коэффициента расхода μ , затем определить геометрические характеристики элементов литниковой системы, затем вновь рассчитать коэффициент расхода. Если значения не сходятся, то принимают новое значение, равное половине суммы принятого и полученного значений. И требуется повторять такой расчет до тех пор, пока не достигают требуемой точности [2, 3].

В связи с этим расчет можно разделить на два этапа: первоначальный (приближенный) и аналитический (по законам гидравлики).

Коэффициент расхода. Для первоначального расчета величину коэффициента расхода определяют по усредненным табличным данным. Величина коэффициента расхода зависит от сплава, сложности литниковой системы, характера прибыли (открытые и закрытые), свойств формы, температуры заливаемого металла и др. [1–8]. Результаты анализа литературных данных представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Коэффициенты расхода μ для черных сплавов

Сплав	Форма	Сопротивление формы		
		Большое	Среднее	Малое
Сталь	Сырая	0,25–0,40	0,32–0,6	0,42–0,70
	Сухая	0,30–0,42	0,38–0,60	0,50–0,70
Чугун	Сырая	0,35	0,42	0,50
	Сухая	0,41	0,48	0,60

Как видно из табл. 1, диапазоны значений коэффициентов весьма велики. Меньшие значения соответствуют формам с закрытыми прибылями, рекомендуется уменьшать коэффициент расхода на 0,05–0,20 по сравнению с аналогичными формами с открытыми прибылями и выпорами [1, 2, 5]. Также рекомендуется увеличивать коэффициент расхода в случае повышения температуры заливки на 50 °С до 0,05. Если сечение шлакоуловителя много больше суммарного сечения питателей, то μ следует увеличить на 0,05–0,20 [1].

Также для определения коэффициента расхода по табл. 1 необходимо знать ориентировочное гидравлическое сопротивление формы, но в литературе наблюдается некоторое разногласие. Так, у [8] высоким сопротивлением обладает форма, имеющая два поворота струи на 90°, у [4] – не менее четы-

рех, причем система должна обладать высокой протяженностью. Средним сопротивлением обладает форма с одним поворотом на 90° у [8], у [2] – 3 поворота. Малое сопротивление – у компактной системы малой протяженности с питателями, расположенными на одной плоскости [4], с двумя поворотами [2] или вообще без поворотов [8].

Таблица 2

Коэффициенты расхода μ для цветных сплавов

Сплавы	Узкое сечение	Значение
Алюминиевые	Стояк вверх	0,65–0,85
	Стояк вниз	0,54–0,74
	Питатели	0,45–0,65
Магниевые	Стояк вверх	0,70–0,90
	Стояк вниз	0,60–0,80
	Коллектор	0,50–0,70
	Литниковые каналы, расположенные далеко от воронки или чаши	0,45–0,65
Бронзы	Отверстие фильтровальной сетки под стояком	0,30–0,50
	Нижнее сечение стояка	0,25–0,45
Лагуны	Питатели	0,20–0,50

В итоге, значения коэффициента расхода находятся в диапазоне от 0,20 до 0,85, для выбора необходимого значения требуется определенная квалификация.

Расчет коэффициента расхода. Коэффициент расхода в гидравлике определяется по соотношению [9]:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{1+\zeta}},$$

где ζ – коэффициент гидравлического сопротивления литниковой системы, приведенный к скорости рассчитываемого сечения.

Основной сложностью такого расчета является отсутствие информации о величинах сопротивлений многих элементов литниковых систем или ее противоречивость. Об уровне сложности говорит тот факт, что некоторые источники рекомендуют выбирать коэффициент μ по табличным значениям, стараясь наиболее полно учесть действия всех факторов, и не выполнять проверочного расчета [2].

Ниже рассмотрены наиболее типичные элементы литниковой системы и коэффициенты их гидравлического сопротивления.

Коэффициент на вход в стояк. Коэффициент гидравлического сопротивления на вход в стояк из чаши $\zeta_{ст}$ принимают по справочникам в зависимости от отношения радиуса скругления r на входе из чаши в стояк и диаметра стояка $d_{ст}$. Диапазон значений $\zeta_{ст}$ от 0,03 до 0,50 [10]:

$r/d_{ст}$	0,00	0,01	0,02	0,05	0,10	0,16	$\geq 0,20$
$\zeta_{ст}$	0,50	0,43	0,36	0,22	0,10	0,06	0,03

Коэффициент на поворот потока. Анализ литературных данных [5, 9–11] показал, что расчет коэффициентов на поворот при перемене площади поперечного сечения в гидравлике не производится. Даже в случае, когда площадь поперечного сечения после поворота не меняется, приводимые в разных источниках величины коэффициентов сильно различаются. Величины варьируются от 1,0 до 1,2. В работе [12] указан диапазон 1,0–2,0. В работе [13] представлены результаты экспериментального определения коэффициента сопротивления на поворот при постоянной площади поперечного сечения и коэффициентов для разных отношений площадей поперечного сечения коллектора и стояка $S_к/S_{ст}$ и площадей поперечного сечения питателя и коллектора $S_п/S_к$. Получены следующие зависимости:

$$\zeta_{к-п(п)} = 0,557(S_п/S_к)^2 + 0,066S_п/S_к + 0,275$$

для $S_п/S_к$ или $S_к/S_{ст}$ от 0,251 до 1;

$$\zeta_{к-п(п)} = 0,280 + 0,115S_п/S_к$$

для $S_п/S_к$ или $S_к/S_{ст} = 0,025 \dots 0,251$;

$$\zeta_{ст-к(к)} = 1,273(S_к/S_{ст})^2 - 0,746S_к/S_{ст} + 0,353$$

для $S_к/S_{ст}$ от 1 до 3,985;

$$\zeta_{ст-к(к)} = 1,053(S_к/S_{ст})^2 - 0,658S_к/S_{ст} + 3,502$$

для $S_к/S_{ст} = 3,985 \dots 15,821$.

Полученное значение коэффициента сопротивления при равных площадях сечений до и после поворота на 90° составляет 0,885.

В работе [12] выводится выражение для случая, когда поворот происходит под углом, отличным от 90° . При определении вводится предположение, что коэффициент пропорционален углу поворота θ , а также значение коэффициента гидравлического сопротивления на поворот на 90° принято равным 1,5. Получено выражение

$$\zeta = \frac{2\theta}{\pi} \left(\frac{S_2}{S_1} \right)^2 + 0,5.$$

Потери напора по длине. В общем случае потери напора по длине при равномерном установившемся движении определяются по формуле Вейсбаха – Дарси [9]:

$$h_l = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g},$$

где λ – коэффициент гидравлического трения, l – длина трубы, м; d – ее диаметр, м; v – скорость потока, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с².

Коэффициент λ зависит в общем случае от числа Рейнольдса и относительной шероховатости стенок каналов литниковой системы Δ_r . Определяется он по графикам, построенным на основе работ Никурадзе и Кольбрука. Величина λ по ним определяется в пределах 0,008–0,080 [9, 14].

Коэффициент на разделение потока. Коэффициент сопротивления на деление потока в стояке (рис. 1) можно рассчитать по зависимости [10]:

$$\zeta^a = \left[1 + 1,5 \left(v_d / v \right)^2 \right] / \left(v_d / v \right)^2,$$

где v – скорость жидкости до деления потока, м/с; v_d – скорость жидкости в одном из каналов после деления потока, м/с.

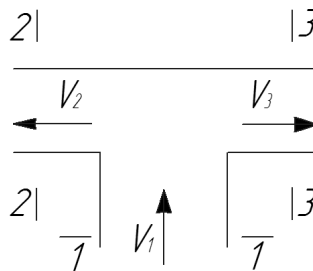


Рис. 1. Деление потока в стояке или коллекторе

Как видно из данного выражения, коэффициент на деление потоков зависит от скорости движения потока жидкости по каналам в системе.

Для определения коэффициента сопротивления на деление жидкости можно воспользоваться специальными диаграммами [10]. Они показывают зависимость коэффициента сопротивления на проход жидкости от отношения скорости отделившейся части потока к скорости потока до его разделения.

Коэффициент на ответвление потока. Коэффициенты сопротивлений на отделение потока из коллектора в питатель можно рассчитать по зависимостям для тройников [15]. Они также во многом зависят от скорости движения потока жидкости по каналам системы (рис. 2).

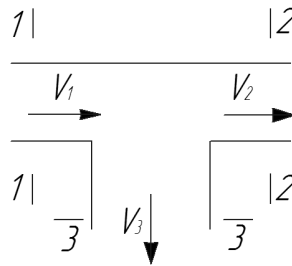


Рис. 2. Ответвление части потока из коллектора в питатель

Коэффициент сопротивления на проход в коллекторе при ответвлении части потока в питатель

$$\zeta_{\text{пр}} = 0,4 \left(1 - v_{\text{пр}} / v_{\text{к}}\right)^2 / \left(v_{\text{пр}} / v_{\text{к}}\right)^2,$$

коэффициент сопротивления на ответвление части потока в питатель:

$$\zeta_{\text{отв}} = \left[1 + \tau \left(v_{\text{п}} / v_{\text{к}}\right)^2\right] / \left(v_{\text{п}} / v_{\text{к}}\right)^2,$$

где $v_{\text{к}}$ и $v_{\text{пр}}$ – скорости металла в коллекторе до и после ответвления части потока в питатель, м/с; $v_{\text{п}}$ – скорость жидкости в питателе, м/с; τ – эмпирический коэффициент, зависящий от отношения площадей питателя к коллектору.

Кроме того, для определения коэффициента сопротивления на проход жидкости для тройников можно воспользоваться специальными диаграммами [10]. Эти диаграммы показывают зависимость коэффициента сопротивления на проход жидкости от отношения скорости отделившейся части потока к скорости потока до его разделения.

Номограммы и таблицы, используемые для приближенного расчета, не учитывают влияние всех факторов, от которых зависит коэффициент расхода литниковой системы, и зачастую имеют большой диапазон значений. Но, тем не менее, для начального расчета эти данные необходимы, чтобы определить размеры литниковой системы в первом приближении.

Последующий расчет, основанный на закономерностях гидравлики, должен уточнить эти размеры, но такой расчет затруднен ввиду недостаточной информации даже о распространенных в литниковых системах гидравлических сопротивлениях. Имеющиеся данные неполные, иногда встречаются некоторые разногласия. Далеко не все данные литейщик сможет найти в справочниках по гидравлике. Необходимы дальнейшие исследования коэффициентов гидравлического сопротивления, учитывающие особенности течения металла по каналам литейной формы.

Список литературы

1. Дубицкий Г.М. Литниковые системы – М.; Свердловск: Машгиз, 1962. – 256 с.
2. Производство стальных отливок / Л.Я. Козлов [и др.]; под ред. Л.Я. Козлова. – М.: Изд-во МИСиС, 2003. – 352 с.
3. Технология литейного производства / А.П. Трухов [и др.]; под ред. А.П. Трухова. – М.: Академия, 2005. – 528 с.
4. Василевский П.Ф. Литниковые системы стальных отливок. – М.: Машгиз, 1974. – 408 с.
5. Вильнер Я.М., Ковалёв Я.Т., Некрасов Б.Б. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам. – Минск: Вышэйшая школа, 1976. – 416 с.
6. Вирт А.Э., Лаврентьев А.М. Расчет литниковых систем стальных отливок: учеб. пособие. – Волгоград, 2012. – 36 с.
7. Цветное литье: справочник / Н.М. Галдин [и др.]; под ред. Н.М. Галдина. – М.: Машиностроение, 1989. – 528 с.
8. Могилев В.К., Лев О.И. Справочник литейщика: Справочник для профессионального обучения рабочих на производстве. – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.
9. Чугаев Р.Р. Гидравлика. – М.: Бастет, 2008. – 672 с.
10. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
11. Альтшуль А.Д., Животовский Л.С., Иванов Л.П. Гидравлика и аэродинамика. – М.: Стройиздат, 1987. – 416 с.
12. Голубев В.Б., Гутман Л.Н. Определение величины коэффициента сопротивления при резком повороте канала литейной формы // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1989. – № 8. – С. 109–111.
13. Исследование местных сопротивлений литниковой системы / В.И. Васенин, Д.В. Васенин, А.В. Богомяков, К.В. Шаров // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2012. – Т. 14, № 2. – С. 46–53.
14. Справочник по гидравлическим расчетам / П.Г. Киселев [и др.]; под ред. П.Г. Киселева. – М.: Энергия, 1972. – 312 с.
15. Меерович И.Г., Мучник Г.Ф. Гидродинамика коллекторных систем. – М.: Наука, 1986. – 144 с.

Получено 10.04.2015

Кузнецова Татьяна Александровна – магистрант, ПНИПУ, МТФ, гр. ТЛП-13м-1, e-mail: detali@pstu.ru.

Ощепков Александр Сергеевич – магистрант, ПНИПУ, МТФ, гр. ТЛП-13м-1, e-mail: detali@pstu.ru.

Богомягков Алексей Васильевич – аспирант, ПНИПУ, МТФ, e-mail: bogomyagkovav@yandex.ru.

Шаров Константин Владимирович – аспирант, ПНИПУ, МТФ, e-mail: ksharov@yandex.ru.