

ISSN 0363-0797

# ИЗВЕСТИЯ

ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ЧЕРНАЯ  
МЕТАЛЛУРГИЯ

9

2000

## МЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЗАВОДОВ

УДК 669.046.514

© 2000 г. С.П. Еронько, В.Я. Седуш, Ю.Г. Полонская, Е.В. Ошовская, К.Н. Кляхин

### РАСЧЕТ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПЕЧНЫХ ЖЕЛОБОВ ДЛЯ БЕСШЛАКОВОГО ВЫПУСКА СТАЛИ

Ранее [1] были рассмотрены теоретические зависимости для расчета оптимальных геометрических параметров печных желобов. С целью проверки их справедливости, еще на стадии проектирования, авторами выполнена оценка эффективности предлагаемых технических решений с помощью физического моделирования по методике, приведенной в работе [2].

В ходе моделирования решались следующие основные задачи:

- изучение характера движения жидкостных потоков в канале печного желоба с целью уточнения данных его гидравлического расчета;

- проверка оптимальных соотношений геометрических параметров печного желоба, обеспечивающих наибольшую степень полноты отсечки шлака;

- оценка действенности предлагаемых мер по повышению эффективности отсечки печного шлака;

- моделирование возможных критических ситуаций, возникающих во время выпуска стали из-за работы оборудования в нештатном режиме.

Лабораторные эксперименты проводили с соблюдением критерия гомохронности  $H_0 = vt/l = idem$  на модели желоба, изготовленной из органического стекла в масштабе 1:10. В качестве моделирующих жидкостей применяли воду и керосин. При этом количество керосина, имитировавшего печной шлак, по отношению к воде составляло 10–15 %.

При проведении экспериментов диаметр выпускного канала модели печи изменяли в пределах 15–25 мм. Нижнее предельное значение диаметра соответствовало условиям выпуска стали из печи при плохо разделанном канале, когда продолжительность схода жидкого металла в разливочный ковш увеличивается в 1,6–2,0 раза. При диаметре выпускного канала модели печи 25 мм время выпуска резко снижалось, что характерно для случаев размывания стенок огнеупорных катушек летки печи.

Контроль количества моделировавшего шлак керосина, попавшего за время выпуска в емкости, имитирующие разливочный ковш и шлаковую чашу, показал, что приемлемая степень полноты отсечки печного шлака обеспечивается скиммерным желобом со стационарной перегородкой лишь при незначительных колебаниях (в пределах 5–7 %) диаметра выпускного канала от своего номинального значения, в соответствии с которым рассчитывались размеры проема под отсекаю-

щей шлак перемычкой. В противных случаях либо наблюдался частичный проход керосина под скиммерной перегородкой (при малом диаметре канала), либо происходил перелив жидкости через перегородку (при увеличенном диаметре канала). Таким образом, достижение стабильных положительных результатов по отсечке технологического шлака в процессе истечения металла из плавильного агрегата будет возможно лишь при обеспечении постоянства проходного сечения выпускного канала печи, что на практике трудно осуществимо в силу целого ряда причин (неизбежное размывание потоками расплава огнеупорных катушек, формирующих канал; частое применение кислорода для прожигания этого канала при неудавшихся попытках механическим путем пробить отверстие в спекшемся слое леточной массы).

Подтверждением сказанного могут служить результаты, опубликованные в работе [3], авторы которой после проведения испытаний скиммерных желобов в условиях Череповецкого и Орско-Халиловского металлургических комбинатов пришли к заключению о необходимости принятия мер по поддержанию в нормальном состоянии сталевыпускного отверстия мартеновских печей, поскольку в случае значительного его износа нельзя добиться требуемой полноты отсечки шлака.

На основании данных исследований процесса отсечки шлака, проведенных на гидравлических моделях, была разработана конструкция печного желоба, схема которого показана на рис. 1.

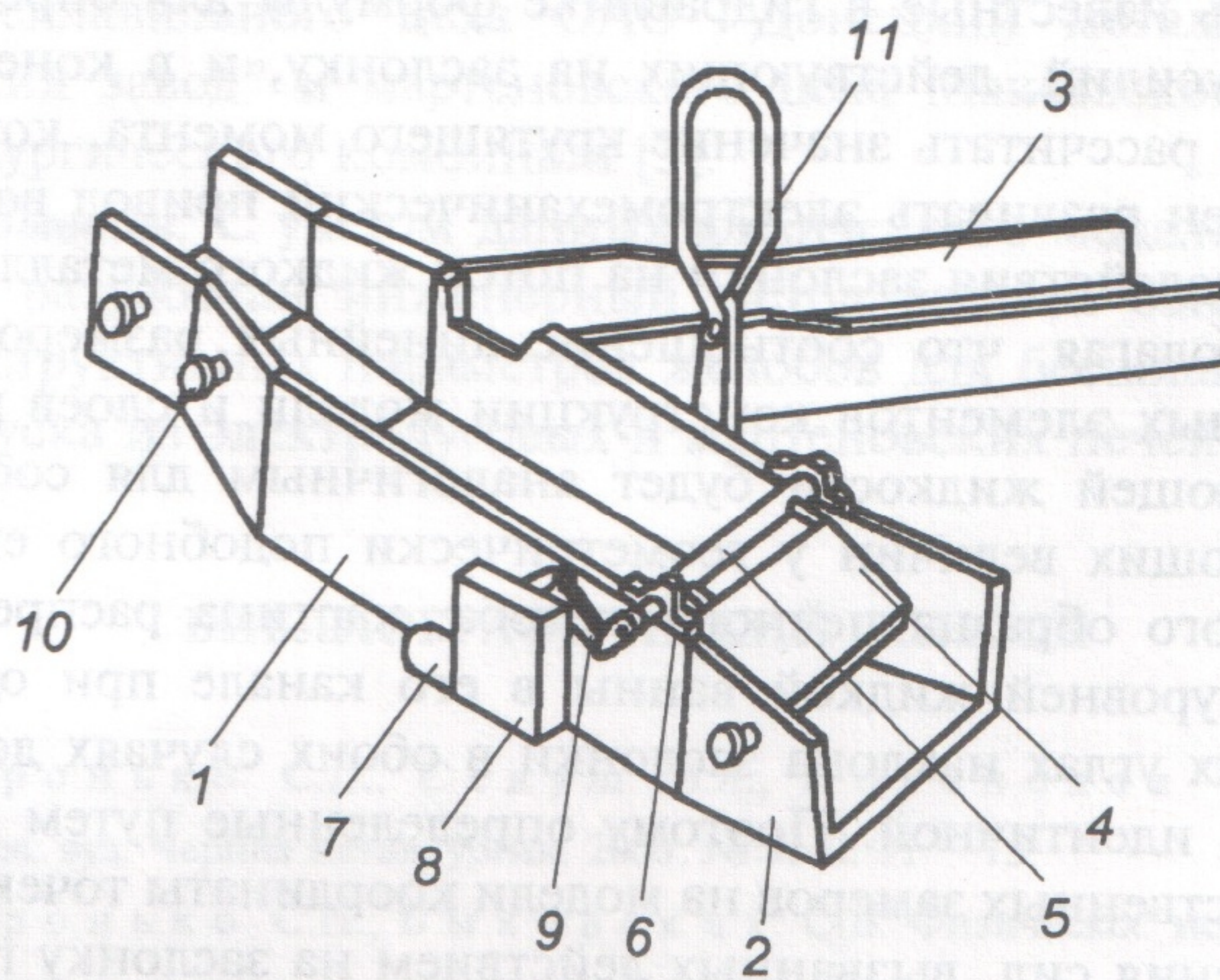


Рис. 1. Схема печного желоба с поворотной заслонкой

Корпус желоба включает приемную 1 и сливную 2 части, а также носок 3 для отвода шлака. Для задержки шлака желоб снабжен заслонкой 4, закрепленной на поперечно расположенном валу 5, установленном в подшипниковых опорах 6. Заслонка выполнена из огнеупорного материала и может поворачиваться вместе с валом на угол 90 град. Механизм поворота заслонки, смонтированной на наружной поверхности боковой стенки корпуса желоба, включает электродвигатель 7, редуктор 8 и кривошипно-рычажный механизм 9. Желоб имеет цапфы 10 для его наклона с целью слива остатков металла в ковш, а также серьгу 11, предназначенную для выполнения подъемным краном транспортных операций [4].

Принцип работы желоба следующий. В начальный период схода жидкого металла из печи в разливочный ковш заслонка желоба находится в верхнем, т.е. в горизонтальном, положении и не контактирует с расплавом. В момент появления печного шлака заслонку с помощью электромеханического привода поворачивают и устанавливают под оптимальным углом к потоку жидкой стали. Меняя угол установки заслонки в зависимости от массового расхода истекающего металла, добиваются подъема уровня шлака в приемной части желоба до уровня поверхности дна сливного носка, по которому печной шлак отводится в шлаковую чашу.

В отличие от известных аналогов эффективность работы желоба не зависит от состояния выпускного отверстия сталеплавильной печи. Кроме того, предусмотренный принудительный поворот заслонки в обоих направлениях при надлежащей мощности привода исключает возможность ее зависания даже при наличии металлической настыли на внутренней поверхности канала желоба.

Для выполнения рабочего проекта предлагаемой конструкции печного желоба потребовалась разработка методики расчета мощности привода поворота заслонки. При этом возникли трудности, связанные с отсутствием данных о соотношении уровней расплава в приемной и сливной частях желоба, разделенных поворотной заслонкой, в зависимости от угла ее отклонения от вертикальной оси. Такая информация позволила бы использовать известные в гидравлике формулы для определения усилий, действующих на заслонку, и в конечном счете рассчитать значение крутящего момента, которое должен развивать электромеханический привод во время воздействия заслонки на поток жидкого металла.

Полагая, что соотношение линейных размеров отдельных элементов конструкции модели и слоев моделирующей жидкости будет аналогичным для соответствующих величин у геометрически подобного ей натурного образца печного желоба, картина распределения уровней жидкой ванны в его канале при одинаковых углах наклона заслонки в обоих случаях должна быть идентичной. Поэтому определенные путем непосредственных замеров на модели координаты точек приложения сил, вызванных действием на заслонку гидростатического давления жидкости, после несложного масштабного пересчета позволяют найти соответствующие точки для проектируемого желоба. Динамическое

давление потока можно не учитывать из-за низкой скорости. Зная координаты точек приложения всех сил, действующих на заслонку в реальных условиях, и рассчитав значения этих сил, можно с достаточной для практических целей точностью определить крутящий момент, требуемый для поворота заслонки на нужный угол.

В соответствии с расчетной схемой, приведенной на рис. 2, сила избыточного гидростатического давления жидкой стали на заслонку со стороны сливной части

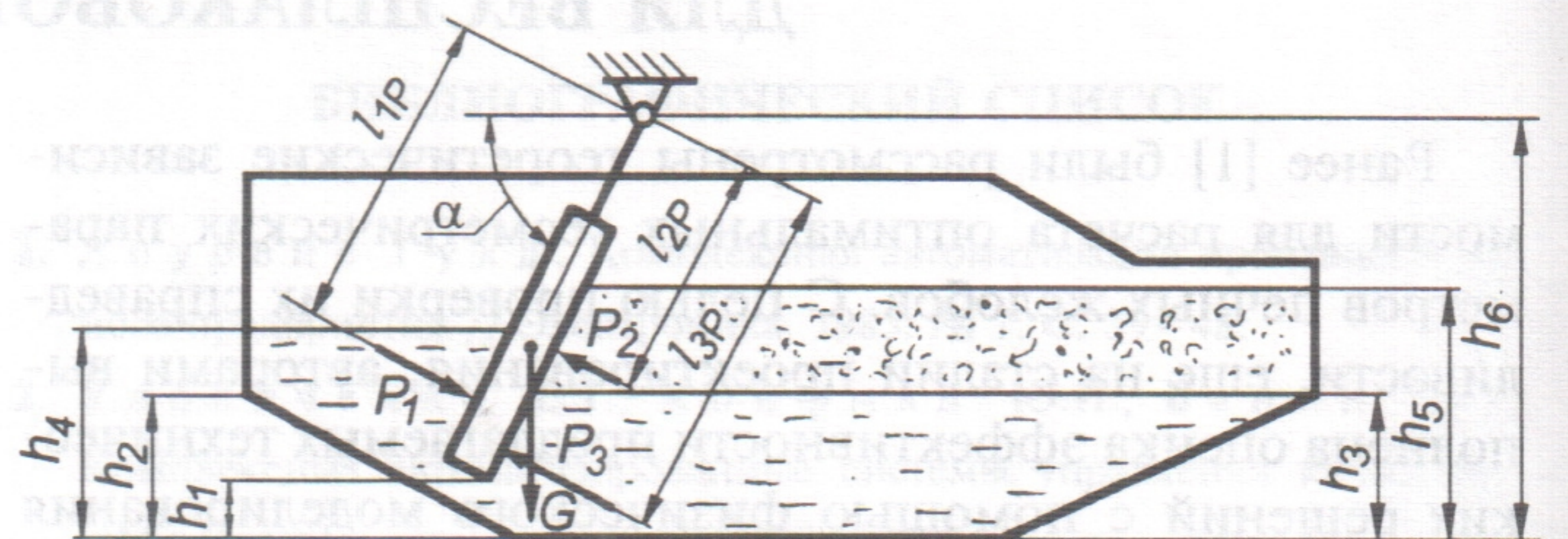


Рис. 2. Расчетная схема предлагаемой конструкции печного желоба

канала желоба равна произведению смоченной площади заслонки  $\omega_1$  и давления в центре тяжести этой площади  $p_{c1}$ :

$$P_1 = p_{c1}\omega_1 = 0,47\rho_c g \frac{(h_4 - h_1)^2}{\sin\beta} \left[ b_3 + m \frac{h_4 - h_1}{\sin\beta} \right], \quad (1)$$

где  $\rho_c$  – плотность жидкой стали;  $g$  – ускорение свободного падения;  $h_4 - h_1$  – глубина погружения нижней кромки заслонки в сливную часть канала желоба;  $b_3$  – ширина нижней кромки заслонки;  $\beta$  – угол наклона заслонки к горизонту;  $m$  – коэффициент откоса канала желоба.

При определении силы избыточного гидростатического давления, действующего на заслонку в приемной части канала желоба, учитываем то обстоятельство, что в этой части канала кроме слоя стали имеется слой шлака, толщины которых соответственно составляют  $h_3 - h_1$  и  $h_5 - h_3$ . Начиная с момента попадания в канал желоба первых порций печного шлака и до момента завершения процесса выпуска стали, толщина слоя шлакового расплава будет увеличиваться и достигнет, в итоге, значения  $h_5 - h_1$ .

Таким образом, на верхнюю часть смоченной площади заслонки действует сила избыточного гидростатического давления шлакового расплава:

$$P_2 = 0,47\rho_{ш} g \left( b_3 + m \frac{h_3 + h_5 - 2h_1}{\sin\beta} \right) \frac{(h_5 - h_3)^2}{\sin\beta}, \quad (2)$$

где  $\rho_{ш}$  – плотность шлакового расплава;  $h_5 - h_3$  – толщина слоя шлака.

На нижнюю часть смоченной площади заслонки действует сила избыточного гидростатического давления жидкой стали:

$$P_3 = \left[ \rho_{ш} g (h_5 - h_3) + \rho_c g (h_3 - h_1) \right] \left( b_3 + m \frac{h_3 - h_1}{\sin \beta} \right) \frac{h_3 - h_1}{\sin \beta}, \quad (3)$$

где  $h_3 - h_1$  – глубина погружения в сталь нижней кромки заслонки.

Центр давления (точка приложения равнодействующей сил давления) для наклоненной к горизонту заслонки желоба лежит ниже ее центра тяжести. Положение центра давления относительно свободной поверхности расплава в общем случае определяется формулой, приведенной в работе [5]:

$$l_d = l_c + \frac{I_c}{\omega l_c}, \quad (4)$$

где  $I_c$  – момент инерции смоченной площади заслонки относительно горизонтальной оси, проходящей через центр тяжести этой площади;  $l_c$  и  $l_d$  – расстояния центра тяжести смоченной площади заслонки и центра давления от линии пересечения плоскости заслонки со свободной поверхностью расплава в канале желоба.

Для сливной части канала желоба центр давления определяется по формуле

$$l_{d1} = \frac{h_{c1}}{\sin \beta} + \left( \frac{h_4 - h_1}{\sin \beta} \right)^3 \frac{(a_1^2 + 4a_1b_3 + b_3^2) \sin \beta}{36\omega_1 h_{c1} (a_1 + b_3)}, \quad (5)$$

где  $a_1$  – ширина заслонки на уровне свободной поверхности расплава в сливной части канала желоба:

$$a_1 = b_3 + 2m \frac{h_4 - h_1}{\sin \beta}. \quad (6)$$

Для приемной части канала желоба:

$$l_{d2} = \frac{h_{c2}}{\sin \beta} + \left( \frac{h_5 - h_3}{\sin \beta} \right)^3 \frac{(a_2^2 + 2a_2a_3 + a_3^2) \sin \beta}{36\omega_2 h_{c2} (a_2 + a_3)}, \quad (7)$$

$$l_{d3} = \frac{h_{c3}}{\sin \beta} + \left( \frac{h_3 - h_1}{\sin \beta} \right)^3 \frac{(a_2^2 + 4a_2b_3 + b_3^2) \sin \beta}{36\omega_3 h_{c3} (a_2 + b_3)}, \quad (8)$$

где  $a_2$  и  $a_3$  – ширина заслонки соответственно на уровне границы раздела шлак-сталь и на уровне свободной поверхности шлака в приемной части канала желоба:

$$a_2 = b_3 + 2m \frac{h_3 - h_1}{\sin \beta} \text{ и } a_3 = b_3 + 2m \frac{h_5 - h_1}{\sin \beta}. \quad (9)$$

Расстояния от оси вала заслонки до центров приложения сил  $P_1, P_2, P_3$ :

$$l_{1P} = \frac{h_6 - h_4}{\sin \beta} + l_{d1}; \quad l_{2P} = \frac{h_6 - h_3}{\sin \beta} + l_{d2}; \quad l_{3P} = \frac{h_6 - h_3}{\sin \beta} + l_{d3}. \quad (10)$$

Тогда крутящий момент, требуемый для поворота заслонки, без учета трения в подшипниках составит

$$M_3 = P_2 l_{2P} + P_3 l_{3P} - P_1 l_{1P} - G_T l_T \cos \beta + G_A l_A \cos \beta; \quad (11)$$

здесь  $G_T$  – сила тяжести поворотной заслонки;  $l_T$  – расстояние от центра тяжести заслонки до оси ее вала;  $G_A$  – сила выталкивания заслонки жидкой сталью,  $G_A = \rho_c V_3 g$ , где  $V_3$  – объем погруженной в жидкую сталь части заслонки:

$$V_3 = \left( b_3 + m \frac{h_4 - h_1}{\sin \beta} \right) \frac{h_4 - h_1}{\sin \beta} \delta_3 \quad (12)$$

( $\delta_3$  – толщина заслонки);  $l_A$  – расстояние от центра объема погруженной в расплав части заслонки до ее оси вала:

$$l_A = \frac{h_6 - h_4}{\sin \beta} + \frac{h_4 - h_1}{2 \sin \beta}.$$

Подставляя в полученные выражения значения геометрических параметров, измеренных на модели и умноженных на линейный масштаб при различном угле наклона заслонки, найдем максимальный крутящий момент на ее валу. Результаты расчетов, приведенные в таблице, использовались при проектировании промышленных образцов печных желобов для условий электроплавильного цеха ОАО “Донецкий металлургический завод” и мартеновского цеха Макеевского металлургического комбината [5].

**Выводы.** С учетом данных физического моделирования разработан инженерный метод расчета основных конструктивных параметров желобов для бесшлакового выпуска из электродуговых и мартеновских печей.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Еронько С.П., Седуш В.Я., Полонская Ю.Г. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2000. № 7. С. 71 – 73.
2. Еронько С.П., Быковских С.В. Физическое моделирование процессов внепечной обработки и разлива стали. – Киев: Техника, 1998. – 136 с.

Данные расчета крутящего момента на валу заслонки желоба при различном ее положении

Тип печи	$b_3, \text{ м}$	$m$	$\beta, \text{ град}$	$h_1, \text{ м}$	$h_2, \text{ м}$	$h_3, \text{ м}$	$h_4, \text{ м}$	$h_5, \text{ м}$	$h_6, \text{ м}$	$h_{C1}, \text{ м}$	$h_{C2}, \text{ м}$	$h_{C3}, \text{ м}$
100-т электродуговая	0,49	0,27	50	0,32	0,38	0,38	0,44	0,47	0,85	0,056	0,042	0,028
			70	0,19		0,26	0,43	0,53		0,113	0,127	0,033
			90	0,16		0,16	0,38	0,56		0,103	0,188	0
250-т мартеновская	0,69	0,27	50	0,37	0,45	0,43	0,51	0,60	1,15	0,066	0,080	0,028
			70	0,20		0,28	0,50	0,68		0,141	0,188	0,038
			90	0,18		0,18	0,45	0,72		0,127	0,254	0

Тип печи	$\omega_1, \text{ м}^2$	$\omega_2, \text{ м}^2$	$\omega_3, \text{ м}^2$	$P_1, \text{ Н}$	$P_2, \text{ Н}$	$P_3, \text{ Н}$	$G_T, \text{ Н}$	$G_A, \text{ Н}$	$l_{1P}, \text{ м}$	$l_{2P}, \text{ м}$	$l_{3P}, \text{ м}$	$l_T, \text{ м}$	$l_A, \text{ м}$	$M, \text{ Н·м}$
100-т электродуговая	0,084	0,066	0,040	323	107	215	625	458	0,64	0,57	0,66	0,38	0,61	23
	0,143	0,173	0,038	1106	838	478		784	0,61	0,53	0,68		0,58	169
	0,121	0,274	0	858	1969	0		665	0,61	0,50	0		0,58	461
250-т мартеновская	0,136	0,176	0,056	616	538	473	1200	1018	0,96	0,86	0,99	0,54	0,95	478
	0,248	0,362	0,061	2401	2605	1087		1899	1,05	0,78	0,98		0,85	550
	0,206	0,451	0	1797	4383	0		1465	1,09	0,81	0		0,84	1448

3. Арзамасцев Е.И., Яровиков В.П., Вдовин С.В. и др. // Сталь. 1988. № 3. С. 25–28.  
 4. Ероныхко С.П. Сталевыпускной желоб / УкрНТИ. 1993. № 97-93. – 3 с.

5. Пилюшенко В.Л., Ероныхко С.П., Быковских С.В. и др. // Металл и литье Украины. 1996. № 7–8. С. 9–13.

Донецкий государственный технический университет. Поступила 6 июля 1999 г.