

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Владимирский государственный университет
Кафедра литейных процессов и конструкционных материалов

ПРОИЗВОДСТВО ОТЛИВОК ИЗ ЧУГУНА И СТАЛИ

Методические указания к практическим занятиям

В двух частях

Часть 2

Составитель
И. К. КАЛЛИОПИН

Владимир 2006

УДК 621.74.002.6(075)

ББК 34.61 я7

П80

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент

Владимирского государственного университета

Ю.Д. Корогодов

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Владимирского государственного университета

Производство отливок из чугуна и стали : метод. указания к
П80 практ. занятиям. В 2 ч. Ч. 2. / Владим. гос. ун-т ; сост. И. К. Каллио-
пин. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2006. – 56 с.

Во 2-й части данных методических указаний приведены содержание, порядок выполнения и варианты практических занятий № 6 – 11 по дисциплине «Производство отливок из чугуна и стали». Соответствуют требованиям ГОС СД.04, утвержденного 03.03.2000.

В 1-й части были рассмотрены практические работы № 1 – 5.

Предназначены для студентов специальности 150104 – литейное производство черных и цветных металлов.

Табл. 15. Ил. 19. Библиогр.: 7 назв.

УДК 621.74.002.6 (075)

ББК 34.61 я7

Практические работы № 6 – 11 посвящены расчету литниковых систем, прибылей и выбору компонентов шихты для выплавки и заливки мелких, крупных отливок из чугуна и стали.

Освоение курса практических занятий дает навыки студентам специальности 150104 «Литейное производство черных и цветных металлов» в овладении технологией изготовления отливок в литейной форме.

Практическая работа № 6

РАСЧЕТ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ МЕЛКИХ ОТЛИВОК ИЗ СЕРОГО ЧУГУНА

Отливки массой 0,5 – 10 кг из серого чугуна часто изготавливают в песчано-глинистых формах, предназначенных для более крупного литья, располагая в одной форме от 2 до 20 штук отливок. Даже в опоках 500 × 400 мм формуют по 4 – 6 моделей, имеющих небольшие габаритные размеры. В подавляющем большинстве случаев отливки в форме заливаются одновременно, т.е. продолжительность заливки одной отливки равна продолжительности заливки всей формы. Однако в расчетных формулах [1, 4] продолжительности заливки, зависящей от массы, нет конкретных указаний, какую из масс принимать за исходную: либо массу одной отливки, либо массу всех отливок. Если в расчет принять массу 1 отливки, то литниковая система получается чрезмерно тяжелой, с перерасходом жидкого металла. Если учитывать массу всех отливок, то сечения литников получаются малыми, не исключаяющими образование недоливов и спаев для некоторых отливок. Компромиссным и достаточно обоснованным является использование графика зависимости продолжительности заливки от массы (рис. 1), где изображены допустимые режимы заливки с указанием «быстро», «нормально» и «медленно». Если по графику выбрать τ^* для массы одной отливки больше чем «нормально», но меньше чем «медленно», а для суммы масс отливок в формуле принять τ^{**} меньше чем «нормально», но

больше чем «быстро», при этом так, чтобы $\tau^* = \tau^{**}$, то полученное время $\tau^{(\Phi)} = \tau^* = \tau^{**}$ можно будет взять за основу для расчета литниковой системы, так как оно не противоречит экспериментальным и практическим данным.

При использовании формовки на автоматических линиях для исключения ручной операции по извлечению из верхней полуформы модели стояка ее прикрепляют к модельной плите и следовательно применяют расширяющийся, а не сужающийся стояк. Движение расплава по такому вертикальному каналу неблагоприятно с точки зрения возможной инжекции газов в поток и увеличения вероятности образования в отливках газовых раковин. Поэтому под стояком необходимо проектировать дроссель – самый узкий элемент в литниковой системе, обеспечивающий заливку с заполненным стояком. Для отливок из серого чугуна можно рекомендовать дроссельные литниковые системы, разработанные для заливки мелких отливок.

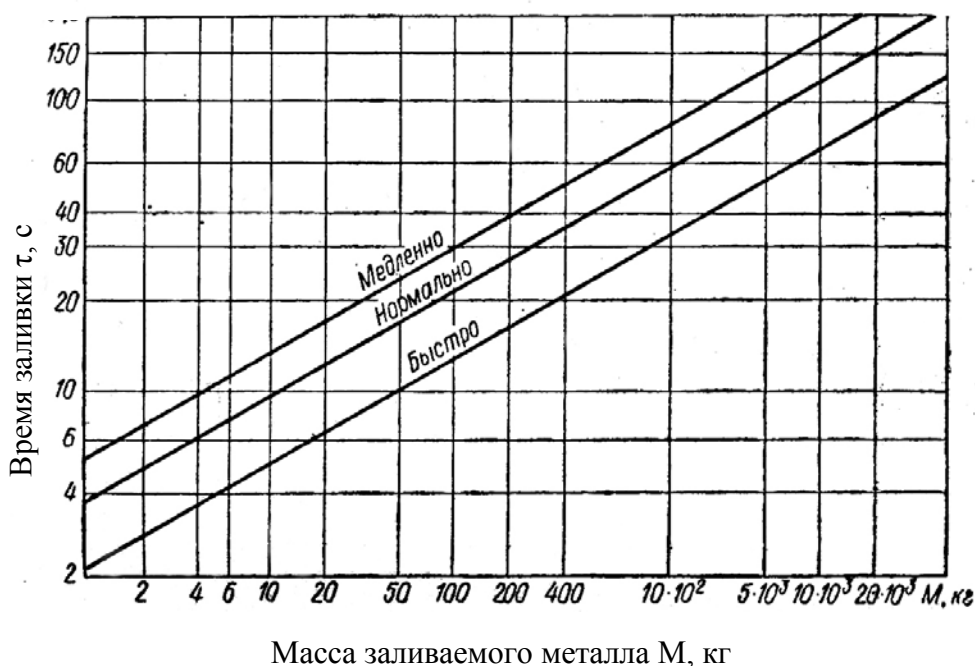


Рис. 1. График для определения времени заливки

Задание

1. Сконструировать боковую дроссельную литниковую систему для заданного количества отливок в форме.

2. Определить продолжительность заливки формы $\tau^{(\Phi)}$ по двум вариантам.

2.1. Подобрать $\tau^{(\Phi)}$ по графику (см. рис. 1) по массе одной отливки и по сумме масс отливок в форме так, как изложено выше.

2.2. Рассчитать:

$$\tau^{(1)} = 2 \sqrt[3]{\delta G_0}, \quad \tau^{(\Sigma)} = 2 \sqrt[3]{\delta \Sigma G_0}, \quad \tau^{(\Phi)} = \frac{\tau^{(1)} + \tau^{(\Sigma)}}{2},$$

где $\tau^{(1)}$ – продолжительность заливки, определённая с введением в расчёт массы одной отливки, с;

$\tau^{(\Sigma)}$ – продолжительность заливки, определённая с введением в расчёт суммы масс всех отливок, с;

G_0 – масса одной отливки, кг;

δ – преобладающая толщина стенки отливки, мм;

$\tau^{(\Phi)}$ – продолжительность заливки формы, с.

2.3. Сравнить $\tau^{(\Phi)}$, определённые в пп. 2.1 и 2.2, и принять решение.

3. Рассчитать средний $m_{\tau \text{ ср}}$, кг/с, и начальный $m_{\tau \text{ н}}$, м/с, массовые расходы:

$$m_{\tau \text{ н}} = K m_{\tau \text{ ср}} = K \frac{\Sigma G}{\tau^{(\Phi)}},$$

$$\text{где } K = 1 + \frac{h_{\text{о.в}}}{h_0} \left(\frac{2}{1 + \sqrt{1 - \frac{h_{\text{о.в}}}{H}}} - 1 \right).$$

Величину K можно определить по графику (рис. 2).

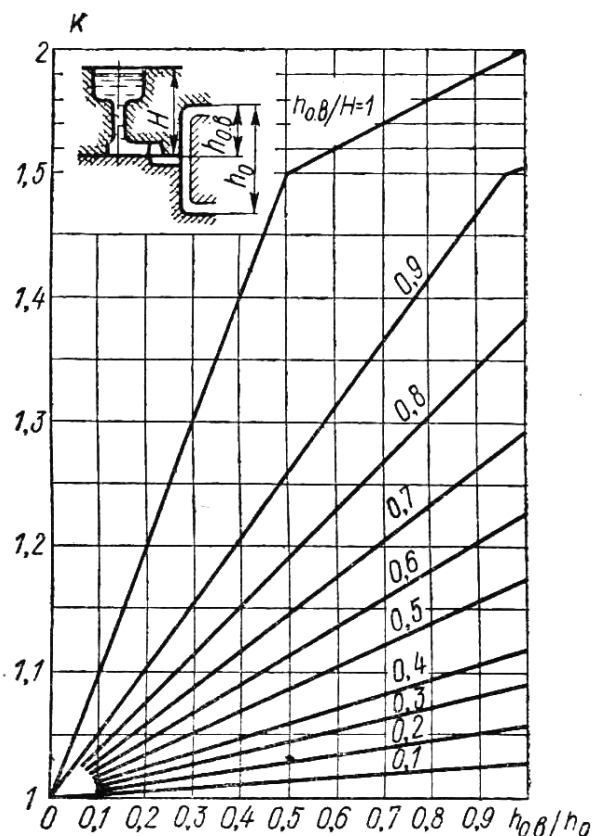


Рис. 2. График для определения коэффициента $K = \frac{m_{\tau \text{ н}}}{m_{\tau \text{ ср}}}$

4. Определить номер и размеры воронки по графику (рис. 3) и табл. 1.

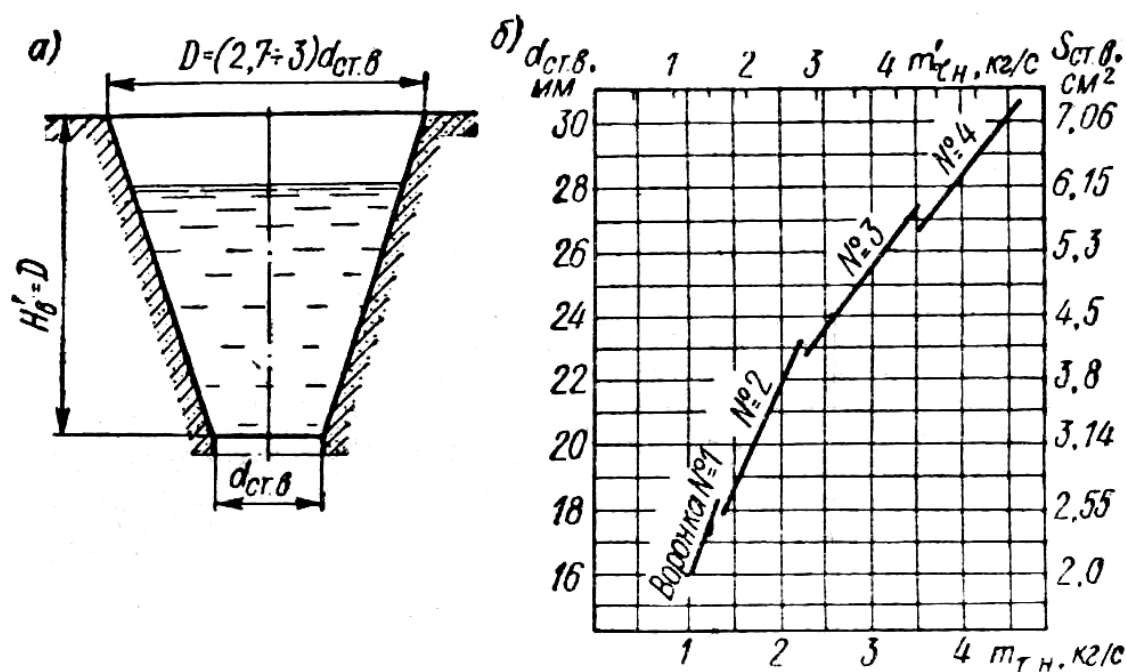


Рис. 3. Литниковая воронка (а) и график для определения номера воронки и размера $d_{ст.в}$ (б)

Таблица 1

Размеры воронок, мм (к рис. 3)

Номер воронки	$d_{ст.в}$, мм	D	$H'_в$	Масса металла в воронке, кг
1	18	50	50	0,3
2	23	60	60	0,6
3	27	75	75	1,1
4	30	90	90	1,9

5. Принять диаметр стояка $d_{ст.} = d_{ст.в}$ по воронке.

6. Выбрать тип, номер и размеры дросселя по одному из рис. 4 – 9 и табл. 2 – 7.

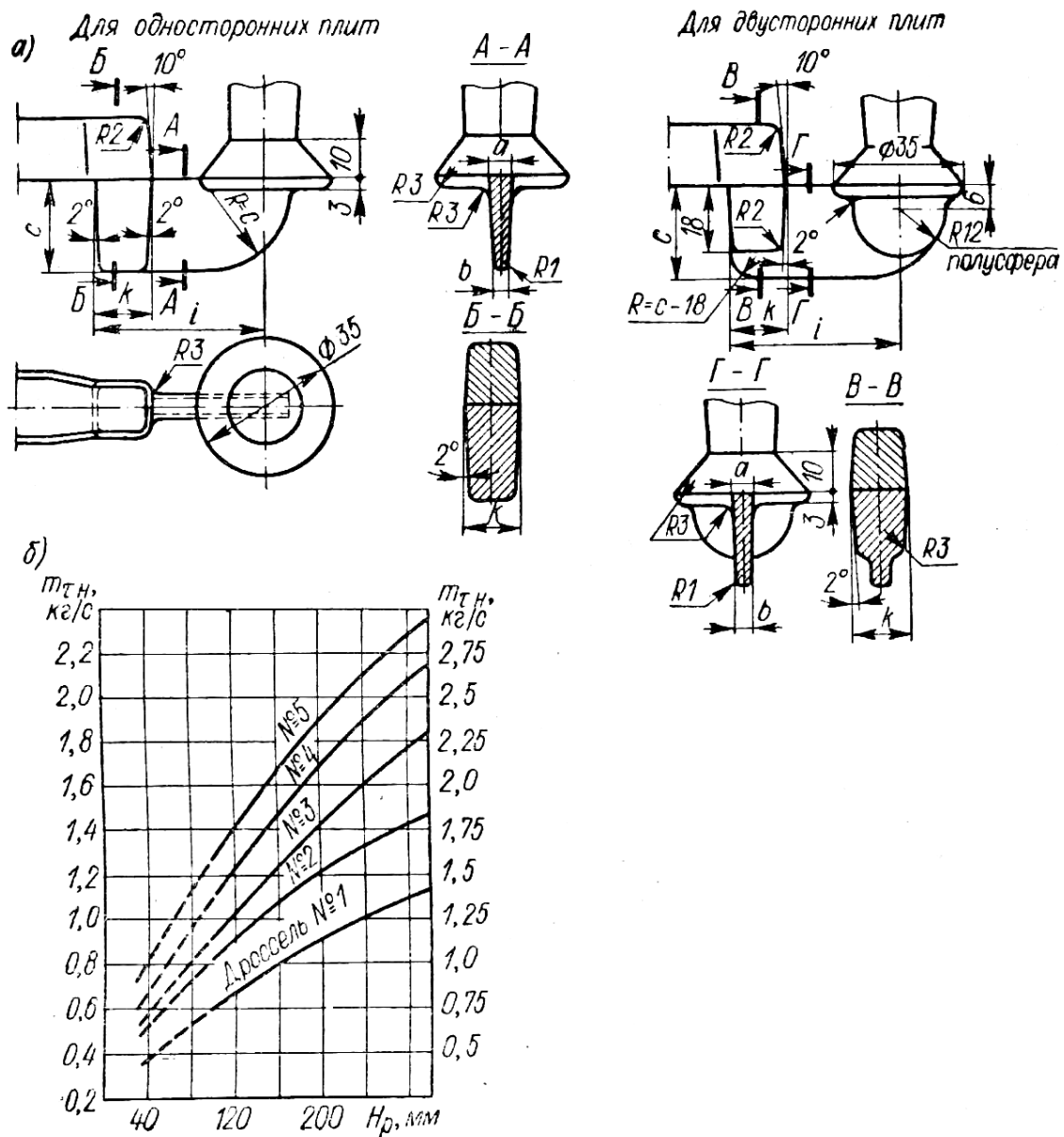


Рис. 4. Щелевые дроссели односторонние (а) и график для определения номера дросселя (б)

Таблица 2

Размеры дросселей, мм (к рис. 4)

Номер дросселя	$S_{др}, \text{см}^2$	$a^{+0,2}$	$b^{+0,2}$	$c^{+0,2}$	i	k
1	1,0	4,5	3,6	24,6	45	15
2	1,5	5,5	4,5	30,0	45	15
3	1,5	7,0	6,2	22,8	48	18
4	2,0	7,0	6,0	30,8	48	18
5	2,5	9,0	8,0	29,4	53	23

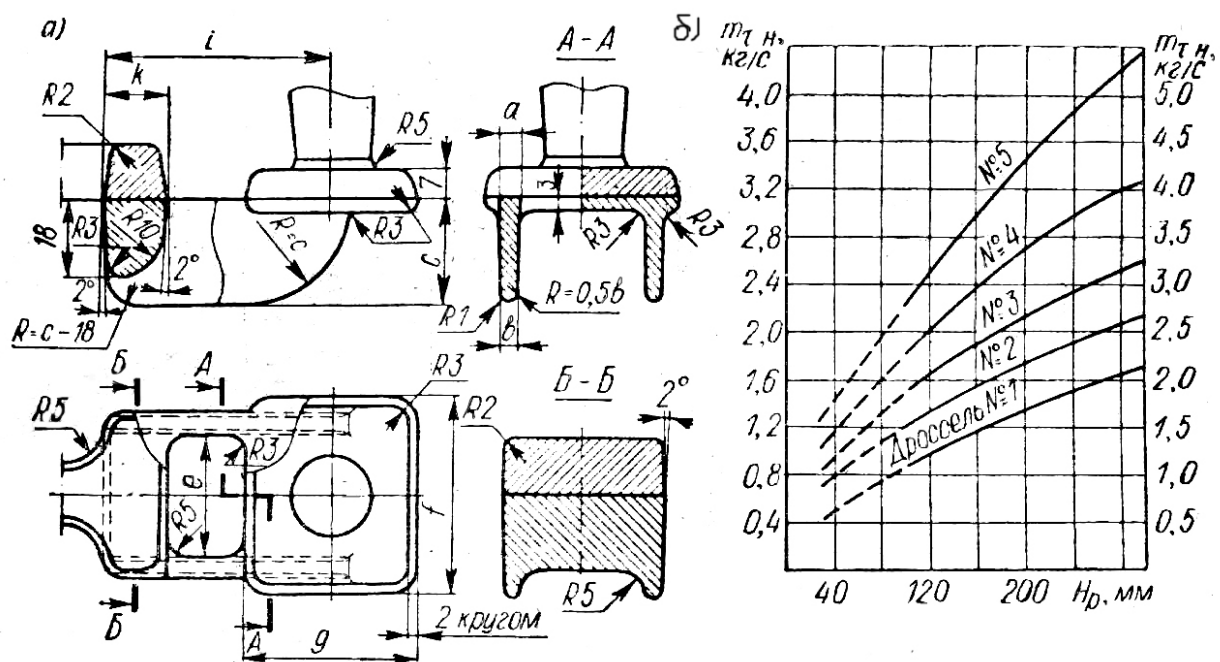


Рис. 5. Щелевые дроссели односторонние двухходовые (а) и график для определения номера дросселя (б)

Таблица 3

Размеры дросселей, мм (к рис. 5)

Номер дросселя	$\sum S_{др}, \text{см}^2$	$a^{+0,2}$	$b^{+0,2}$	$c^{+0,2}$	e	f	g	i	k
1	2,0	4,5	3,6	24,6	30	45	40	53	15
2	2,5	5,5	4,6	24,6	30	47	40	52	15
3	3,0	5,5	4,5	30	30	47	40	52	15
(3a)					40	57			
4	4,0	7,0	6,0	30,8	30	50	40	57	20
(4a)					40	60			
5	5,0	9,0	8,0	29,4	30	54	46	60	20
(5a)					40	64			

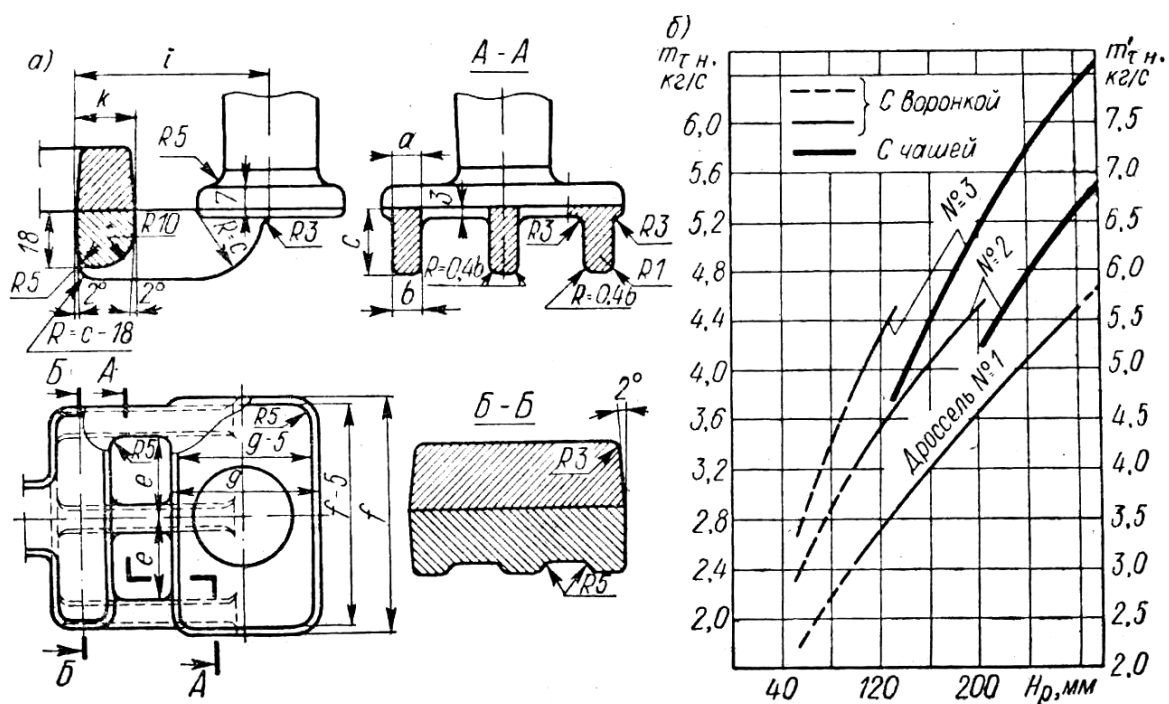


Рис. 6. Щелевые дроссели односторонние трехходовые (а)
и график для определения номера дросселя (б)

Таблица 4

Размеры дросселей, мм (к рис. 6)

Номер дросселя	$\sum S_{др}, \text{см}^2$	$a^{+0,2}$	$b^{+0,2}$	$c^{+0,2}$	e	f	g	i	k
1	5,15	10,0	9,5	17,6	25	76	46	62	20
2	7,0	10,0	9,2	24,3	35	96	50	62	20
3	8,55	10,0	9,0	30,0	35	96	50	62	20

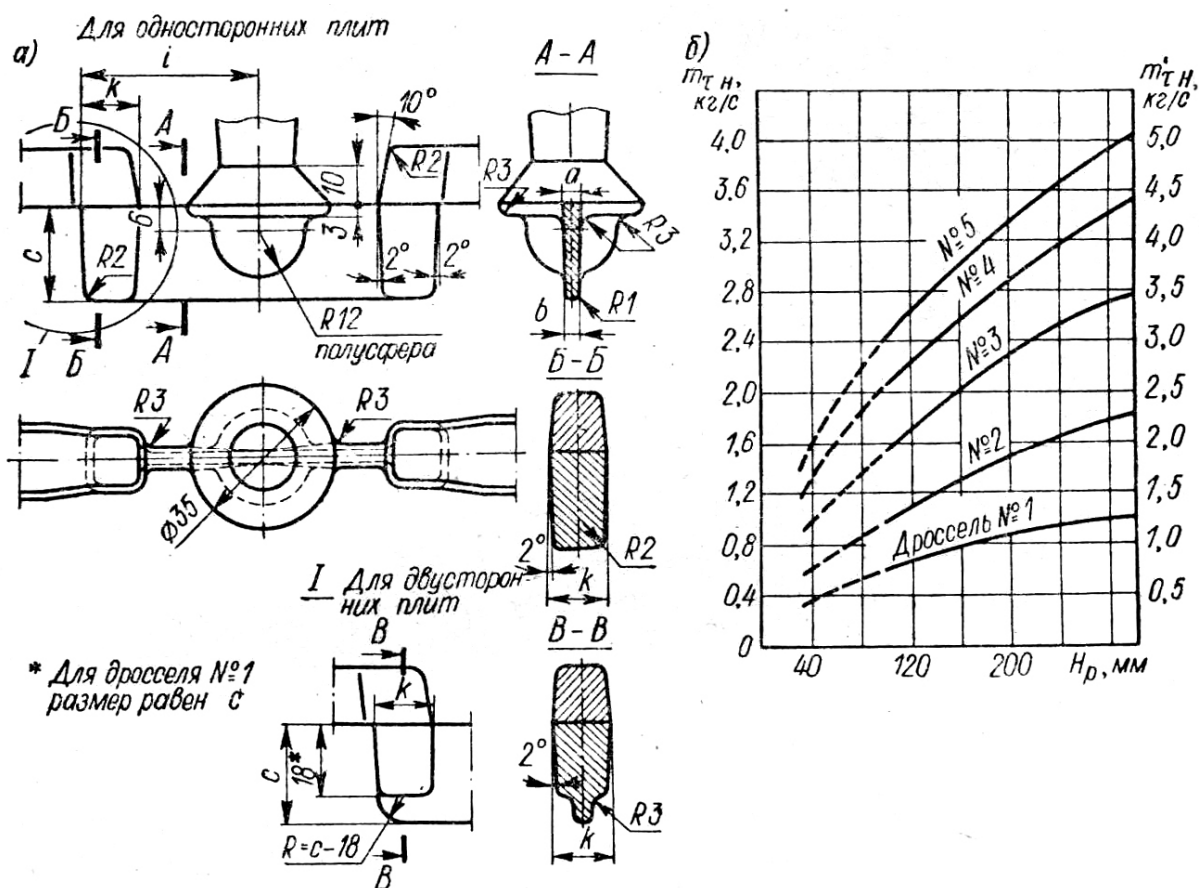


Рис. 7. Щелевые дроссели двухсторонние одноходовые (а) и график для определения номера дросселя (б)

Таблица 5

Размеры дросселей, мм (к рис. 7)

Номер дросселя	$\sum S_{др}, \text{см}^2$	$a^{+0,2}$	$b^{+0,2}$	$c^{+0,2}$	i	k
1	1,0	4,5	4,1	11,6	45	15
2	2,0	4,5	3,6	24,5	45	15
3	3,0	5,5	4,5	30,0	45	15
4	4,0	7,0	6,0	30,8	48	18
5	5,0	9,0	8,0	29,4	50	18

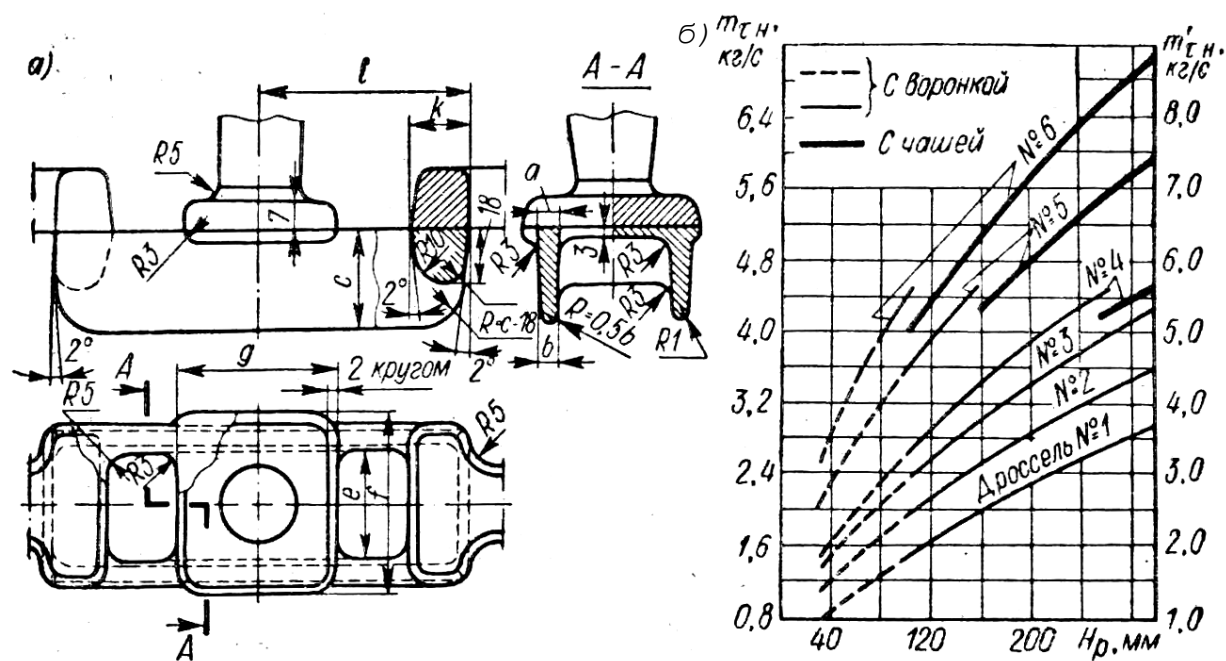


Рис. 8. Щелевые дроссели двусторонние двухходовые (а) и график для определения номера дросселя (б)

Таблица 6

Размеры дросселей, мм (к рис. 8)

Номер дросселя	$\sum S_{др}, \text{см}^2$	$a^{+0,2}$	$b^{+0,2}$	$c^{+0,2}$	e	f	g	i	k
1	3,0	4,5	3,9	18	30	46	46	55	15
2	4,0	4,5	3,6	24,6	40	56	46	55	15
(2a)	4,0	4,5	3,6	24,6	30	46	46	55	15
3	5,0	5,5	4,6	24,6	40	56	46	55	15
(3a)	5,0	5,5	4,6	24,6	30	46	46	55	15
4	6,0	5,5	4,5	30,0	40	56	56	60	15
5	8,0	7,0	6,0	30,8	40	60	56	65	20
6	10,0	9,0	8,0	29,4	40	64	56	65	20

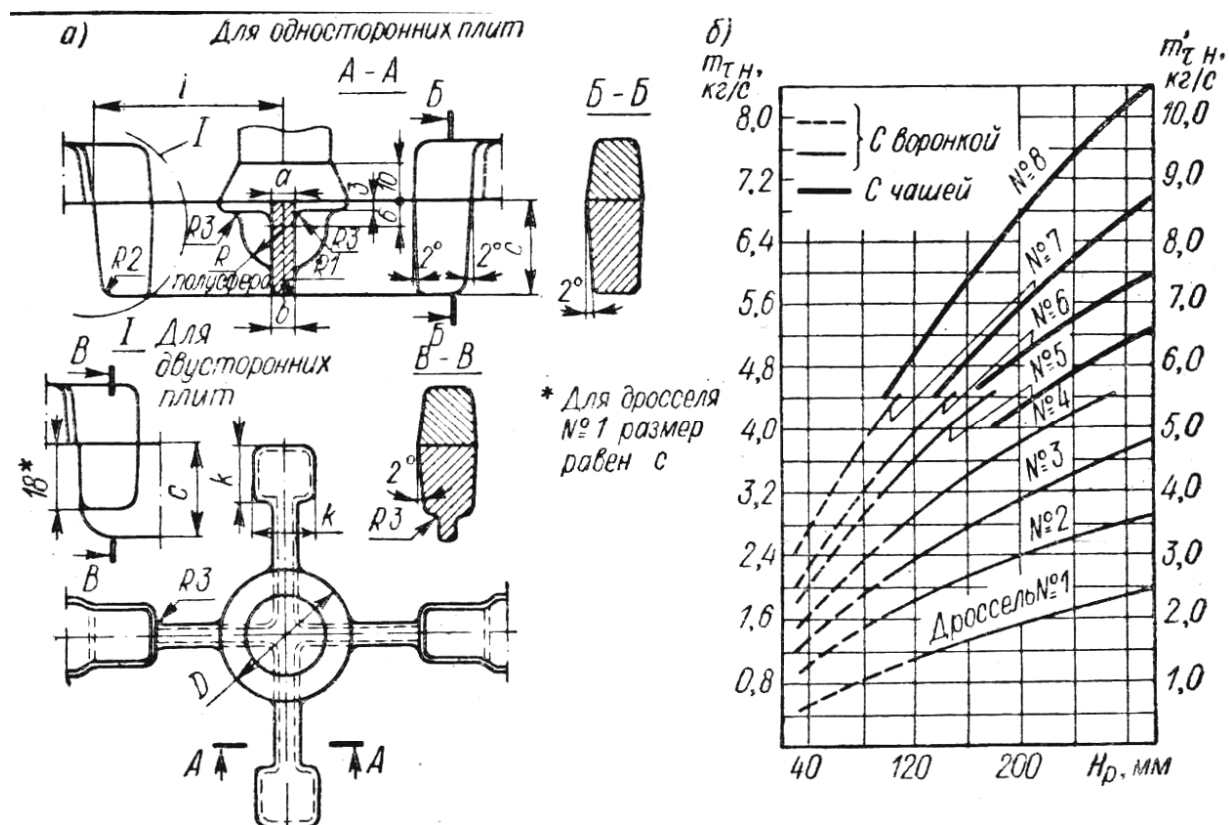


Рис. 9. Щелевые дроссели крестообразные одноходовые (а) и график для определения номера дросселя (б)

Таблица 7

Размеры дросселей, мм (к рис. 9)

Номер дросселя	$\sum S_{др}, \text{см}^2$	$a^{+0,2}$	$b^{+0,2}$	$c^{+0,2}$	D	i	k	R
1	2	4,5	4,1	11,6	35	45	15	12
2	3	4,5	3,9	18,0	35	45	15	12
3	4	4,5	4,0	24,6	35	45	15	12
4	5	5,5	4,6	24,6	40	50	15	15
5	6	5,5	4,5	30,0	40	50	15	15
6	6,8	7,0	6,1	26,0	45	55	18	17,5
7	8	7,0	6,0	30,8	45	55	18	17,5
8	10	9,0	8,0	29,4	50	60	18	20

7. Выбрать размеры шлакоуловителя в соответствии со скоростью металла в шлакоуловителе $V_{м.шл} = 70 \text{ см/с}$ и $V_{м.шл} = 45 \text{ см/с}$ по графику (рис. 10).

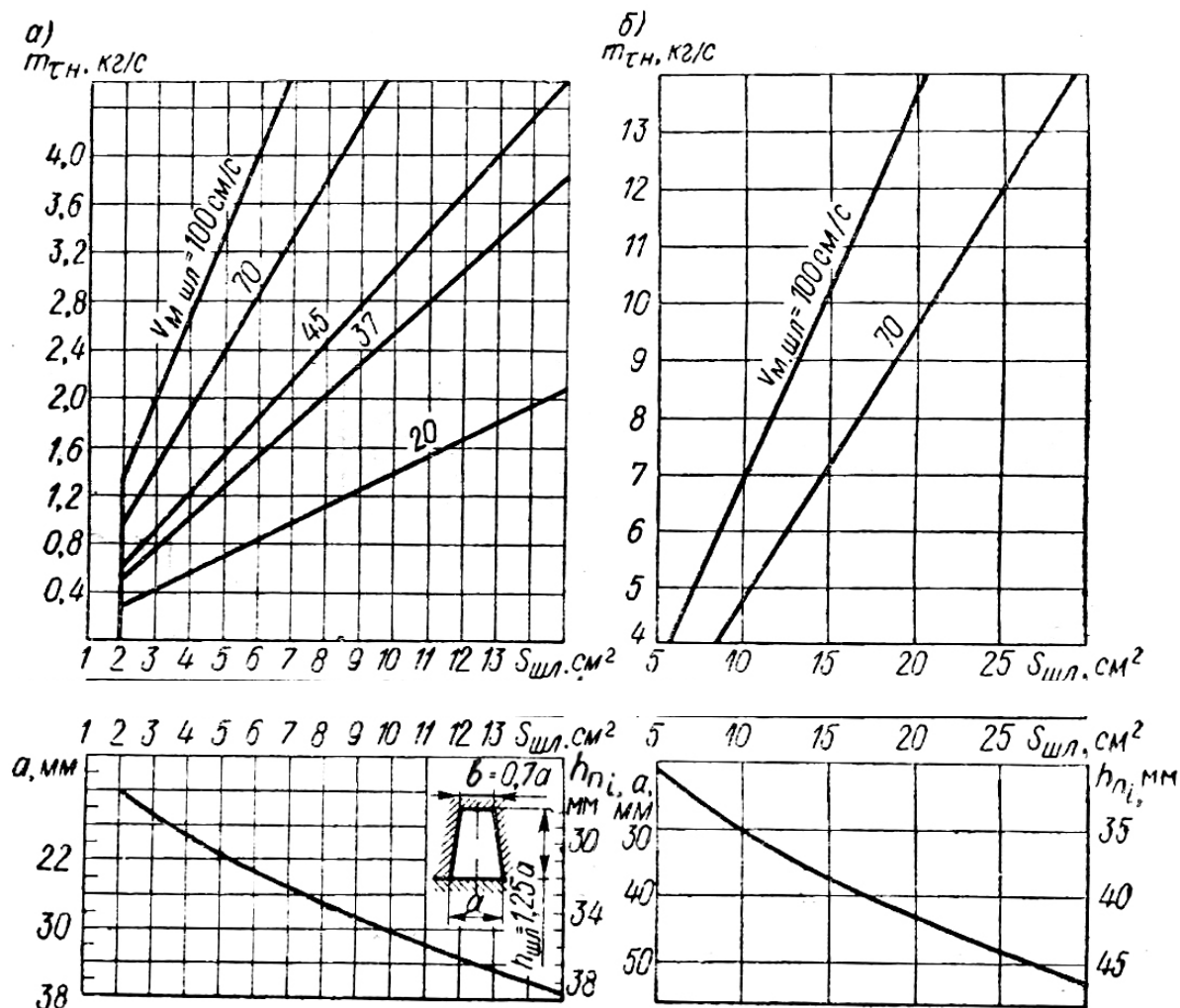


Рис. 10. Графики для определения площади сечения $S_{шл}$, размеров шлакоуловителя и пьезометрического напора в нем перед первым питателем в зависимости от скорости металла $V_{м.шл}$:
а – $m_{т.н.} < 4$ кг/с; б – $m_{т.н.} = 4 \dots 10$ кг/с

8. Определить суммарную площадь сечения питателя $\sum S_{пит}$ и выбрать размеры питателей при $V_{м.шл} = 70$ см/с и $V_{м.шл} = 45$ см/с по графику (рис. 11).

9. Вычертить площади поперечного сечения литниковой системы при $V_{м.шл} = 70$ см/с и $V_{м.шл} = 45$ см/с.

10. Рассчитать сумму сечений питателей $\sum F_{пит}$, см², по формуле

$$\sum F_{пит} = \frac{3,32 m_{т.н.}}{\mu \sqrt{H}},$$

где $\mu = 0,5$ – коэффициент расхода металла; H – высота верхней опоки, мм. Сравнить $\sum S_{пит}$ и $\sum F_{пит}$

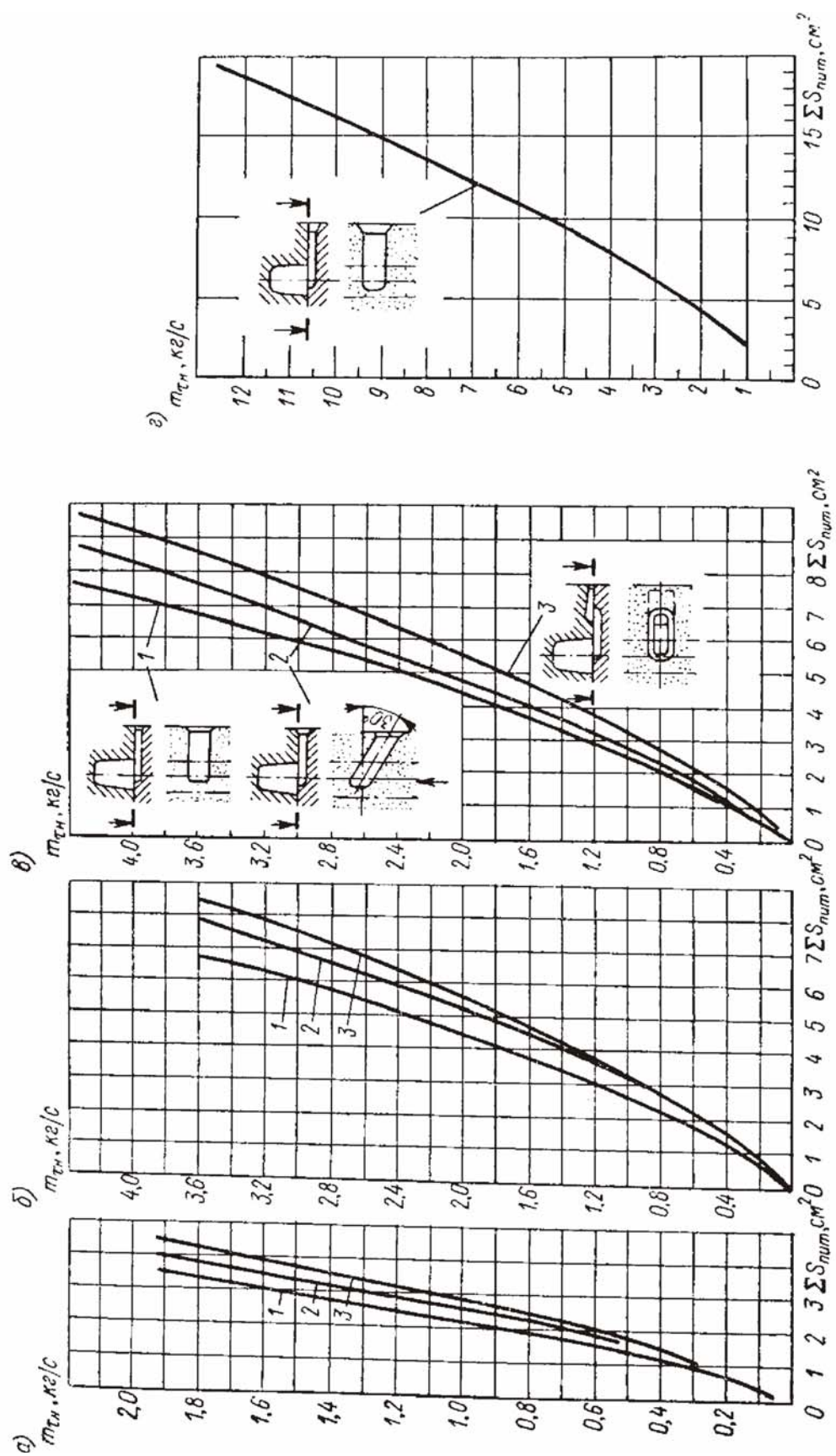


Рис. 11. Графики для определения суммарной площади сечения питателей в зависимости от их конструкции (сопротивления) и скорости металлов в шлакоуловителе
 : а) $v = 20 \text{ м/с}$; б) $v = 37 \text{ м/с}$; в) $v = 70 - 100 \text{ м/с}$.
 Конструкции питателей, соответствующие кривым 1-3 приведены на рис. 11 в)

Варианты заданий

Вариант	Масса отливки G_0 , кг	Толщина стенки отливки δ , мм	Количество отливок в форме, шт.	Высота верхней опоки H , мм	$h_{o.в.}$, мм	h_o , мм
1	0,5	6	12	150	30	50
2	1	6	10	150	35	50
3	2	7	8	150	35	55
4	3	7	6	200	40	60
5	4	8	5	200	50	80
6	5	8	6	200	60	90
7	7	10	5	200	60	100
8	8	10	4	200	50	100
9	10	12	4	250	100	150
10	15	12	3	250	90	140
11	20	14	3	250	80	200
12	20	16	4	250	120	150
13	15	16	4	300	100	120
14	10	14	5	300	80	120
15	8	12	6	300	70	100
16	7	12	8	250	80	140
17	5	10	8	250	60	100
18	4	7	10	250	50	100
19	3	6	8	250	40	80
20	2	10	10	200	40	60
21	1	8	12	200	30	50
22	0,5	8	16	200	25	50
23	1	7	12	200	30	40
24	2	6	5	200	40	80
25	3	10	10	250	40	100
26	4	8	12	250	50	80
27	5	6	10	250	60	90
28	6	12	5	250	70	100
29	7	8	4	250	80	120
30	8	8	8	250	80	140

Контрольные вопросы

1. Какие элементы должна содержать литниковая система?
2. Что такое инжекция газов в литниковой системе?
3. Какими способами можно уменьшить инжекцию газов?
4. Что такое дроссель в литниковых системах?
5. Какие конструкции дросселей используют в литниковых системах?
6. Какие способы задержания шлака используют в литниковых системах?
7. Какова цель расчета литниковой системы?
8. Какими способами определяют продолжительность заливки формы?
9. К каким дефектам отливок приводит быстрая заливка?
10. К каким дефектам отливок может привести медленная заливка?

Практическая работа № 7

РАСЧЕТ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ВНУТРИФОРМЕННОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ ОТЛИВОК ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

В настоящее время более 1,5 млн т высокопрочного чугуна в мире производится методом внутриформенного модифицирования. Сущность этой технологии заключается в заливке в форму базового (необработанного магнием) чугуна, где в реакционную камеру литниковой системы предварительно помещен сфероидизирующий модификатор ФСМг FeSiMg.

Модификатор ФСМг является сплавом (лигатурой) кремния (45 – 48 %), магния (2,7 – 9,5 %), кальция (0,8 – 5,5 %), редкоземельных металлов – РЗМ (0,8 – 3,3 %), бария (до 5,5 %), алюминия (не более 1,2 %), железа (остальное). Модификатор имеет невысокую температуру плавления ~ 1200 °С и используется в дробленом виде с размерами частиц 1 – 4 мм в количестве 0,8 – 1,2 % от массы заливаемого сплава, поэтому способен растворяться в потоке чугуна, заливаемого в литейную форму.

Конструкция литниковой системы и ее размеры должны быть выбраны и рассчитаны такими, чтобы обеспечить равенство (примерное) продолжительности заливки и продолжительности растворения всей порции модификатора. Если это равенство будет нарушено, то часть металла в от-

ливке может оказаться либо немодифицированной, либо перемодифицированной, что недопустимо.

Примерная схема конструкции литниковой системы представлена на рис. 12.

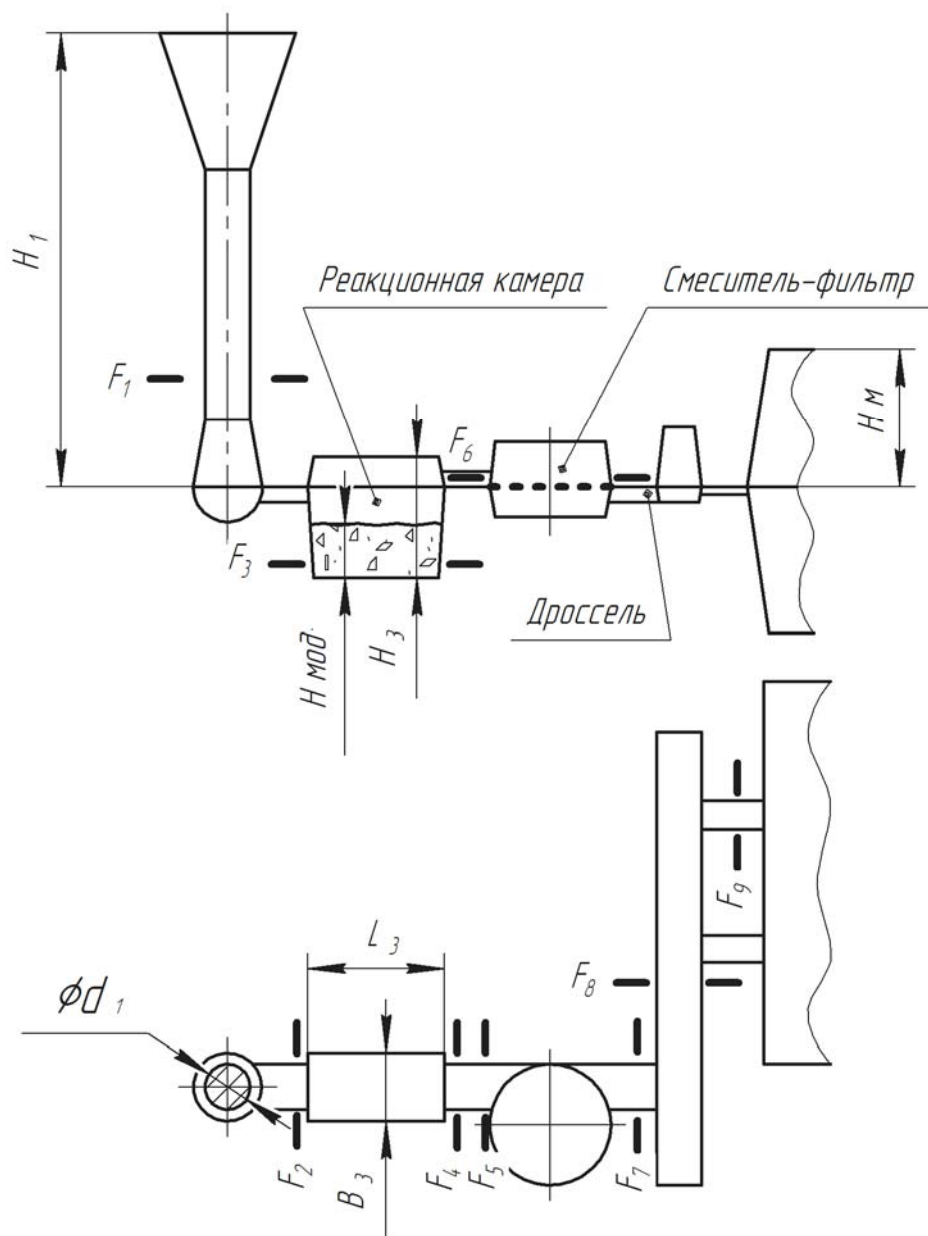


Рис. 12. Схема конструкции литниковой системы для внутрiformенного модифицирования

Расчет размеров элементов литниковой системы производится по формулам: F_1 – поперечное сечение стояка, мм²; $F_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}$, где d_1 – диа-

метр стояка, мм; F_2 – поперечное сечение входного канала в реакционную камеру, мм²: $F_2 = B_2 H_2$, где B_2 и H_2 – ширина и высота входного канала, мм; F_3 – горизонтальное сечение реакционной камеры, мм²: $F_3 = B_3 L_3$, где B_3 и L_3 – ширина и длина реакционной камеры, мм; F_4 – поперечное сечение выходного канала из реакционной камеры, мм²: $F_4 = B_4 H_4$, где B_4 и H_4 – ширина и высота выходного канала, мм; $H_{\text{мод}}$ – высота засыпанного модификатора в реакционную камеру до начала заливки, мм; F_5 – поперечное сечение входного канала в смеситель-фильтр, мм²: $F_5 = B_5 H_5$, где B_5 и H_5 – ширина и высота входного канала соответственно, мм; F_6 – горизонтальное сечение смесителя фильтра, мм²: F_7 – поперечное сечение дросселя – выходного канала из смесителя-фильтра, мм²: $F_7 = b_7 h_7$, где b_7 и h_7 – ширина и высота сечения дросселя соответственно, мм; F_8 – поперечное сечение литникового хода (шлакоуловителя), мм²: F_9 – сечение питателей (литников), подводящих металл в отливку, мм².

Исходные данные для расчетов

Масса отливки G_0 , кг.

Толщина стенки отливки δ , мм.

Высота модели $H_{\text{м}}$, мм.

Высота стояка H_1 , мм.

Марка модификатора FeSiMg и три или четыре цифры, следующие за химическими символами: первая цифра – содержание магния в процентах, вторая – содержание кальция в процентах, третья – содержание редкоземельных металлов (РЗМ) в процентах, четвертая (если есть) – содержание бария в процентах.

Например: FeSiMg611 содержит Mg – 6; Ca – 1 %; РЗМ – 1 %; FeSiMg9105 содержит: Mg – 9; Ca – 1; РЗМ – 0; Ba – 5 %.

Последовательность расчета

Определяем размеры элементов литниковой системы.

1. Масса металла в форме $\sum G_{\text{мет}}$, кг (с учетом всех отливок и массы литниковой системы):

$$\sum G_{\text{мет}} = 2G,$$

где G – масса отливки, кг.

2. Время заливки τ , с:

$$\tau = 2\sqrt[3]{\sum G_{\text{мет}} \delta},$$

где δ – толщина стенки отливки, мм.

3. Средний массовый (весовой) расход $m_{\tau \text{ ср}}$, кг/с:

$$m_{\tau \text{ ср}} = \frac{\sum G_{\text{мет}}}{\tau}$$

4. Площадь горизонтального сечения реакционной камеры, см^2 :

$$F_3 = \frac{m_{\tau \text{ ср}}}{f(ASF)},$$

где f или ASF – фактор растворимости модификатора, $\text{кг}/(\text{с} \cdot \text{см}^2)$.

Величину $f(ASF)$ выбирают в пределах от 0,045 до 0,06 $\text{кг}/(\text{с} \cdot \text{см}^2)$, более высокие значения принимают при увеличенных концентрациях Mg и РЗМ в модификаторе и при более высокой температуре заливки, первоначально можно принять $f = 0,05 \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{см}^2)$.

Примечание: если поток металла из стояка раздваивается и в литниковой системе используют две реакционные камеры, то при расчетах каждой из их площадей должен быть учтен только массовый расход, протекающий через данную камеру.

5. Ширина реакционной камеры $B_3 = \frac{L_3}{2}$, поэтому $B_3 = \sqrt{\frac{F_3}{2}}$, длина реакционной камеры $L_3 = \sqrt{2F_3}$.

6. Ширина входного B_2 и выходного B_4 каналов реакционной камеры: $B_2 = B_4 = 0,8B_3$.

7. Площадь поперечного сечения питателей, см^2 :

$$\sum F_9 = \frac{3,32 m_{\tau \text{ ср}} \cdot 1,1}{\mu \sqrt{H_1 - H_{\text{м}}}},$$

где μ – коэффициент расхода металла, можно принять $\mu = 0,4$; $(H_1 - H_{\text{м}})$ – напор в литниковой системе, см .

8. Площадь поперечного сечения входного канала, см^2 :

$$F_2 = 1,3 \sum F_9.$$

9. Высота входного канала, см :

$$H_2 = \frac{F_2}{B_2}.$$

10. Расход модификатора, %:

$$P_{\text{мод}} = \frac{Mg_{\text{ост}} \cdot 100 \%}{Mg_{\text{мод}} \eta},$$

где $Mg_{\text{ост}}$ – остаточная концентрация магния в металле отливок, %:
 $Mg_{\text{ост}} = 0,03 \dots 0,04 \%$ для отливок массой ≥ 30 кг, $Mg_{\text{ост}} = 0,04 \dots 0,05 \%$ для отливок, массой ≤ 30 кг;

$Mg_{\text{мод}}$ – концентрация магния в модификаторе (см. марку модификатора);

η – коэффициент усвоения, $\eta = 0,8$.

11. Масса вводимого модификатора, кг:

$$G_{\text{мод}} = \frac{P_{\text{мод}} \sum G_{\text{мет}}}{100 \%}.$$

12. Высота модификатора в реакционной камере, см :

$$H_{\text{мод}} = \frac{G_{\text{мод}}}{\gamma_{\text{мод}} F_3},$$

где $\gamma_{\text{мод}}$ – насыпная масса модификатора, $\gamma_{\text{мод}} = 2 \text{ г/см}^3$.

13. Высота реакционной камеры:

$$H_3 = H_{\text{мод}} + H_{\text{техн}} + H_2,$$

где $H_{\text{техн}}$ – технологический зазор, $H_{\text{техн}} = 10 \dots 20$ мм, значение $(H_{\text{техн}} + H_2)$ не должно быть менее 25 мм, соотношение $\frac{H_{\text{мод}}}{H_3} \approx 0,6 \dots 0,7$.

14. Скорость растворения модификатора, мм/с:

$$V_{\text{раств}} = \frac{H_{\text{мод}}}{\tau}.$$

$V_{\text{раств}}$ должна находиться в пределах 1,7 – 2,1 мм/с. Если получившееся в расчете значение $V_{\text{раств}}$ меньше 1,7 мм/с, то фактор растворения f при расчете сечения реакционной камеры F_3 необходимо увеличить. Если $V_{\text{раств}}$ превышает 2,1 мм/с, сечение F_3 и коэффициент f необходимо несколько уменьшить.

Примечание: студентам предлагается, задавшись $V_{\text{раств}}$, рассчитать самостоятельно $H_{\text{мод}}$, затем F_3 и f и сравнить полученные результаты.

15. Площадь сечения смесителя-фильтра:

$$F_6 = 1,5 \frac{\sum F_9}{K},$$

где K – коэффициент пропускной способности сетки фильтра, $K = \frac{\sum F_{\text{отв.сет}}}{F_{\text{сет}}} \approx 0,5 \dots 0,7$, $\sum F_{\text{отв.сет}}$ – суммарная площадь сечений отверстий в сетке общей площадью $F_{\text{сет}}$.

16. Площадь поперечных сечений:

$$F_1 = 1,35 \sum F_9; \quad F_2 = 1,3 \sum F_9; \quad F_4 = 1,25 \sum F_9; \quad F_5 = 1,1 \sum F_9;$$

$$F_8 = 1,5 \sum F_9; \quad F_7 = \sum F_9.$$

17. Размеры d_1 ; $h_{\text{шл}}$, a , b , приняв $F_8 = S_{\text{шл}}$ (см. рис .10); $h_{\text{пит}}$, $b_{\text{пит}}$.

Выбираем дроссель F_7 и его размеры b_7 и h_7 .

Варианты заданий

Вариант	Масса отливки G , кг	Толщина стенки отливки δ , мм	Высота модели H_M , мм	Высота ополки H_1 , мм	Марка модификатора FeSiMg
1	10	6	40	120	522
2	15	8	90	150	611
3	20	10	50	150	621
4	25	12	90	200	711
5	30	14	100	200	721
6	35	16	60	200	722
7	40	18	110	250	731
8	45	20	70	200	722
9	50	18	70	250	721
10	40	16	100	200	711
11	45	14	60	150	621
12	30	12	110	250	611
13	25	16	80	200	522
14	20	14	60	200	611
15	15	12	50	150	621
16	10	8	50	150	611
17	15	10	40	120	621
18	20	8	50	150	522
19	25	14	50	150	711
20	30	16	60	150	721
21	35	14	100	200	722
22	40	16	70	200	731
23	45	18	110	250	722
24	50	20	80	250	721
25	45	20	60	200	711
26	40	20	70	200	621
27	35	18	110	250	611
28	30	16	60	150	522
29	25	14	100	200	611
30	20	12	50	150	621

Контрольные вопросы

1. Почему модифицирование высокопрочного чугуна целесообразнее проводить в литейной форме, а не в ковше?
2. Какой дефект отливок будет наблюдаться, если модификатор растворится позднее, чем закончится заливка формы?
3. Какой дефект отливок будет наблюдаться, если модификатор растворится ранее окончания заливки?
4. Для чего в литниковой системе предусмотрен смеситель-фильтр?
5. Каков смысл величины «фактор растворения»?
6. Каким образом проконтролировать качество отливки, полученной внутриформенным модифицированием?
7. Из какого материала изготавливают сетку фильтра?
8. Каково должно быть содержание серы в высокопрочном чугуне?
9. Какую функцию в модификаторе выполняет кальций?
10. Какую функцию в модификаторе выполняют РЗМ?

Практическая работа № 8

РАСЧЕТ ОДНОЯРУСНЫХ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ЗАЛИВКИ СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК

Технологические особенности поведения жидкой стали при заливке литейных форм обуславливают требования к устройству литниковых систем. Повышение температуры заливаемой стали сверх максимально допустимой способствует образованию пригара и горячих трещин на отливках. Кроме того, с увеличением температуры возрастает объемная усадка стали, вследствие чего возникают дополнительные трудности по созданию нормальных условий питания затвердевающей отливки. Поэтому чаще всего формы заливают сталью при минимально возможном ее перегреве выше температуры ликвидуса, достаточном лишь для получения отливок без недоливов, спаев и неровностей поверхности стенок.

Согласно отмеченным технологическим особенностям нецелесообразно применение сложной, чрезмерно разветвленной литниковой системы. Учитывая также, что при заливке форм из стопорного ковша шлак удерживается в нем, перечислим основные требования, предъявляемые к конструкции одноярусных литниковых систем стальных отливок:

- а) минимальная протяженность литниковых каналов;
- б) подвод питателей в направлении продольной оси простенка формы;
- в) заливка формы через заполненные каналы литниковой системы;
- г) одностороннее направление потока жидкой стали в полости литейной формы, создание условий для выноса в прибыли всплывающих неметаллических частей (например, тангенциальным подводом питателей);
- д) размещение питателей в отдалении от мест расположения холодильников и жеребеек;
- е) преимущественное применение сифонного подвода металла, а при отсутствии такой возможности обеспечение минимальной высоты его свободного падения;
- ж) рассредоточение мест подвода питателей к особо тонкостенным частям отливки с обеспечением преимущественной подачи металла в подприбыльные части отливки;
- з) обеспечение направленного затвердевания отливки для вывода усадочных дефектов в прибыли.

Расчеты литниковой системы, выполняемые в производственных условиях, сводятся к определению оптимальной продолжительности заливки формы τ и площади поперечного сечения всех элементов этой системы.

Продолжительность заливки литейных форм сталью τ зависит от многих технологических факторов, которые трудно учесть в каждом конкретном случае. В связи с этим τ устанавливают по эмпирическим формулам, в которых комплексное влияние этих факторов определяется коэффициентами, принимаемыми по экспериментальным данным. Поэтому при использовании расчетных данных нужно учитывать, что они ориентировочные и лишь ограничивают возможность получения грубых отклонений от оптимальных значений τ . На основании изложенного целесообразно использовать несколько различных вариантов расчета, проанализировать полученные результаты и принять решение с учетом конкретных особенностей конструкции отливки и опыта заливки однотипных отливок в данных условиях их производства.

Другой особенностью расчета литниковых систем для стального литья является то обстоятельство, что разливка стали производится из стопорных ковшей и, следовательно, расчету подлежат не только площади поперечного сечения каналов литниковой системы в форме, но и размеры стопорного отверстия в ковше, которые также определяет скорость заливки.

Исходные данные для расчетов

Масса отливки G_o , кг.

Число отливок в форме n , шт.

Высота отливки H_o , мм.

Толщина стенки отливки δ , мм.

Марка стали.

Вместимость ковша G_k , т.

Для всех вариантов:

Технологическая группа отливок II (табл.8).

Высота стояка $H_{ст} = 2H_o$.

Расстояние от стопорного стаканчика до воронки 200 мм.

Масса литниковой системы, приходящейся на 1 отливку, $G_{л} = 0,3G_o$, кг.

Таблица 8

Основные признаки технологических групп отливок

Характеристика отливок	Технологическая группа при способе формовки	
	по-сырому	по-сухому*
Отливки типа плит, горизонтально расположенных в форме при заливке Отливки особо ответственного назначения, подвергаемые контролю ультразвуком, просвечиванием гамма- или рентгеновскими лучами, гидроиспытанием при высоком давлении Отливки, имеющие развитые горизонтальные поверхности, механически обрабатываемые с верхней стороны (по заливке)	I	I
Отливки зубчатых колес Отливки, имеющие развитые тонкостенные части	I	II

* Включая случаи изготовления литейных форм из самотвердеющих смесей, не подвергаемых тепловой сушке.

Окончание табл. 8

Характеристика отливок	Технологическая группа при способе формовки	
	по-сырому	по-сухому*
Отливки, имеющие развитые, механически обрабатываемые поверхности, расположенные преимущественно с нижней стороны (по заливке)	II	III
Отливки, имеющие преимущественно вертикальное расположение основных поверхностей, в том числе механически обрабатываемых	II	IV

Последовательность расчета

1. Определить продолжительность заливки.

$$1.1. \tau^{(1)} = S \sqrt[3]{\delta(G_0 + G_{\text{л}})},$$

где $\tau^{(1)}$ – время заливки, определённое с учетом массы одной отливки, с;
 S – коэффициент времени (табл. 9).

Таблица 9

Коэффициент времени S , принимаемый при определении τ
 в зависимости от массы жидкой углеродистой стали $G = n(G_0 + G_{\text{л}})$,
 расходуемой на заливку форм

Технологическая группа отливок	G , кг	S при расчетной толщине стенки отливки δ_0 , мм				
		До 15	Св. 15 до 30	св. 30 до 50	Св. 50 до 100	Св. 100
I	До 500	1,0	0,90	0,80	0,75	–
	500 – 1000	1,05	1,0	0,90	0,80	0,75
	1000 – 5000	1,15	1,05	0,95	0,85	0,80
	5000 – 15000	1,25	1,10	1,0	0,90	0,85
II	До 500	1,10	1,0	0,90	0,85	–
	500 – 1000	1,20	1,10	1,0	0,95	0,90
	1000 – 5000	1,30	1,20	1,05	1,0	0,95
	5000 – 15000	1,40	1,30	1,15	1,05	1,0
III	До 500	1,25	1,10	1,0	0,95	–
	500 – 1000	1,30	1,20	1,10	1,05	1,0
	1000 – 5000	1,45	1,30	1,15	1,10	1,05
	5000 – 15000	1,55	1,40	1,25	1,15	1,10

Технологическая группа отливок	G, кг	S при расчетной толщине стенки отливки δ_0 , мм				
		До 15	Св. 15 до 30	св. 30 до 50	Св. 50 до 100	Св. 100
IV	До 500	1,35	1,20	1,10	1,05	—
	500 – 1000	1,40	1,30	1,20	1,15	1,10
	1000 – 5000	1,60	1,45	1,30	1,25	1,20
	5000 – 15000	1,75	1,60	1,45	1,35	1,25

Примечание. Коэффициент S должен быть кратным следующим значениям, принимаемым при изготовлении отливок:

а) из легированных сталей (ГОСТ 2176-57):

110Г13Л 0,8,

20Х13Л 0,6,

10Х18Н9ТЛ 0,55,

30Х24Н12СЛ 0,50;

б) при суммарном содержании в стали Cr, Mo и W от 1,8 до 2,5 % 0,8 – 0,9;

в) при содержании в стали Al от 2 до 5 % 0,6 – 0,4.

$$1.2. \tau^{(\Sigma)} = S \sqrt[3]{\delta n (G_0 + G_{\text{л}})}, \text{ с.}$$

$$1.3. \tau^{(V)} = \frac{H_0}{V}, \text{ где: } \tau^{(V)} - \text{ время заливки, определенное по вертикальной скорости, с; } V - \text{ вертикальная скорость подъема уровня металла в полости литейной формы (табл. 13), мм/с.}$$

$$1.4. \tau^{(\text{оп1})} = 1,35 G_0^{5/12} \text{ при } \delta \geq 30 \text{ мм;}$$

$$\tau^{(\text{оп}\Sigma)} = 1,35 (n G_0)^{5/12} \text{ при } \delta \geq 30 \text{ мм;}$$

$$\tau^{(\text{оп1})} = G_0^{5/12} \text{ при } \delta < 30 \text{ мм;}$$

$$\tau^{(\text{оп}\Sigma)} = (n G_0)^{5/12} \text{ при } \delta < 30 \text{ мм.}$$

Сравнить результаты расчетов по пп. 1.1 – 1.4 и принять решение.

2. Рассчитать массовый расход металла, необходимый для качественной заливки отливки, кг/с:

$$\omega = \frac{n(G_0 + G_{\text{л}})}{\tau}.$$

3. Определить диаметр отверстия стопорного стаканчика в ковше заданной вместимости, который обеспечит качественную заливку. Расход стали, вытекающей из стопорного ковша, определяется соотношением

$$\omega = \frac{\beta_p}{\beta_T} \mu_K \gamma_{\text{ж}} F_0 \sqrt{2gH},$$

где β_p – коэффициент размывания отверстия стопорного стакана к концу выпуска стали из ковша, при использовании шамотных стопорных огнеупоров $\beta_p \approx 1,15 \dots 1,25$, для магнезитовых огнеупоров $\beta_p \approx 1,0 \dots 1,05$, в расчете можно принять $\beta_p = 1$;

β_T – коэффициент торможения струи за счет неполного открывания стопорного отверстия. Значение $\beta_T > 1,8$ следует считать недопустимым, так как вытекающая струя разбрызгивается. Значение $1 < \beta_T < 1,5$ является приемлемым способом регулирования скорости потока при разливке стали из ковша, так как эта скорость уменьшается по мере понижения уровня расплава в ковше;

μ_K – коэффициент расхода стопорного отверстия, $\mu_K = 0,89$;

$\gamma_{\text{ж}}$ – удельный вес жидкой стали, $\gamma_{\text{ж}} = 7100 \text{ кг/м}^3$;

F_0 – площадь сечения стопорного отверстия, см^2 , $F_0 = \frac{\pi d_0^2}{4}$, $d_{\text{отв}}$ – диаметр стопорного отверстия, мм,

g – ускорение силы тяжести, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;

H – уровень расплавленной стали в ковше, мм.

В зависимости от высоты столба жидкого металла в ковше (H) и диаметра стопорного отверстия (d_0) при $g = 981 \text{ см/с}^2$, $\gamma_{\text{ж}} = 0,0071 \text{ кг/см}^3$, $\beta_K = 0,89$, рассчитаны расходы и сведены в таблицу для ковшей различной вместимости. Табл. 10 позволяет подобрать приемлемый диаметр стопорного стаканчика в зависимости от требуемых расходов и условий разливки.

Таблица 10

Зависимость расхода стали ω от диаметра стопорного отверстия d_0
для ковшей различной вместимости

Масса металла в ков- ше, т	Уровень полного ковша H^{**} , мм ($\beta_T = 1,5$)	Уровень металла в конце разливки H^* , мм ($\beta_T = 1,0$)	ω , кг/с, при d_0 , мм ($\beta_T = 1,0$)							
			30	35	40	45	50	55	60	70
1	700	300	10,7	14,5	18,9	24,0	29,6	35,8	42,7	58,1
2	800	355	11,6	15,7	20,6	26,0	32,1	38,7	46,3	62,7
3	900	400	12,2	16,7	21,8	26,7	34,2	41,3	49,3	67,1
3	1000	450	13,0	17,6	23,2	29,4	36,2	43,7	52,1	71,0
4	1120	500	13,8	18,7	24,4	30,8	38,2	46,0	55,0	75,0
6	1250	560	14,6	19,6	25,9	32,7	40,5	49,0	58,5	79,1
10	1350	600	15,1	20,5	26,7	33,8	41,8	50,7	60,2	82,0
10	1500	650	15,7	21,3	27,8	35,3	43,6	52,7	62,6	85,3
16	1600	710	16,4	22,3	29,1	36,8	45,3	55,0	65,5	89,5
16	1700	750	16,8	22,8	30,0	37,8	46,8	56,5	67,2	91,7
16	1800	800	17,5	23,5	30,9	39,1	48,3	58,3	69,3	94,8
20	1900	850	17,9	24,3	32,0	40,3	49,7	60,2	71,7	97,8
20	2000	900	18,4	25,1	32,8	41,5	51,2	62,0	73,7	100,3
20	2120	950	18,9	25,8	33,7	42,6	52,8	63,8	75,7	103,2
20	2300	1000	19,5	26,4	34,5	43,7	54,0	65,2	77,8	106,0
20	2400	1060	20,2	27,3	36,0	45,3	55,7	67,3	80,5	109,2
30	2500	1120	20,5	27,7	36,2	45,9	56,7	68,7	81,9	111,2
30	2600	1150	20,9	28,3	37,1	46,9	57,9	70,2	83,4	113,5
30	2680	1220	21,5	29,2	38,2	48,5	60,0	72,1	86,5	117,5
30	2720	1250	21,8	29,6	38,6	48,9	60,4	73,1	87,0	118,3
40	2800	1320	22,3	30,5	39,8	50,2	61,7	74,8	89,4	121,7
40	2800	1400	23,1	31,5	40,9	51,8	63,8	77,4	92,0	125,1
40	2800	1500	23,8	32,4	42,3	53,6	66,2	80,0	95,5	129,7
40	2800	1600	24,7	33,4	43,7	55,3	68,3	82,6	98,5	134,0
40	2800	1650	25,1	34,2	44,7	56,6	69,8	84,5	100,5	137,0
40	2800	1700	25,4	34,4	45,2	57,0	70,5	85,2	101,3	138,0
50	2800	1800	26,2	35,4	46,3	58,7	72,5	87,7	104,3	141,8
50	2800	1900	26,8	36,4	47,1	60,3	74,4	90,0	107,0	145,7
50	2800	2000	—	—	48,8	61,4	75,5	92,4	110,0	149,6
50	2800	2050	—	—	50,0	63,2	78,2	94,5	112,0	153,0
50	2800	2120	—	—	50,5	64,1	78,6	95,6	115,1	154,3
90	2800	2300	—	—	—	66,4	81,8	98,5	117,7	160,6
90	2800	2500	—	—	—	—	85,4	103,3	123,0	167,3
90	2800	2720	—	—	—	—	93,5	113,0	126,8	183,2

4. Рассчитать площадь поперечного сечения стопорного отверстия $F_0, \text{см}^2$.

5. Рассчитать площади поперечного сечения литниковых каналов в полости литейной формы.

Из условий неразрывности потока площадь поперечного сечения узкого элемента в литниковой системе $F_y, \text{см}^2$, можно определить по формуле

$$F_y = F_0 \frac{\mu_k \beta_p}{\mu \beta_T} \sqrt{\frac{H}{h}}$$

где μ – коэффициент расхода литниковой системы, $\mu = \frac{1}{\sqrt{1 + \sum \xi_i}}$, ξ_i – ме-

стное гидравлическое сопротивление (при повороте потока на 90° , при входе в литниковую воронку и при входе в полость формы принять $\xi_i = 1,1$). Составить эскиз литниковой системы, подсчитать общее число гидравлических сопротивлений и коэффициент расхода μ ;

H – высота металла в ковше, мм,

h – напор металла в литейной форме, мм.

Начертить эскиз литейной формы при заливке из полного ковша с уровнем металла близким к H^{**} (первая форма при заливке из ковша), по типу рис. 13 и проставить на нем размеры H' , h' , H'' , h'' .

Рассчитать F_y' и F_y'' с использованием коэффициента $\beta_T = 1,5$: F_y' и F_y'' – начало и конец заливки первой формы, см^2 .

Начертить эскиз литейной формы при заливке из ковша с уровнем металла в нем, близким к H^* (последняя форма при заливке из ковша), (см. табл. 10), и проставить размеры H' , h' , H'' , h'' .

Рассчитать F_y' и F_y'' с использованием коэффициента $\beta_T = 1,0$: F_y' и F_y'' – начало и конец заливки последней формы соответственно, см^2 .

В расчетах принять $\mu_k = 0,89$, $\beta_p = 1$ для всех марок сталей, $\beta_p = 1,25$ – для стали 110Г13Л.

Результаты сравнить с результатами, полученными по графику (рис. 14).

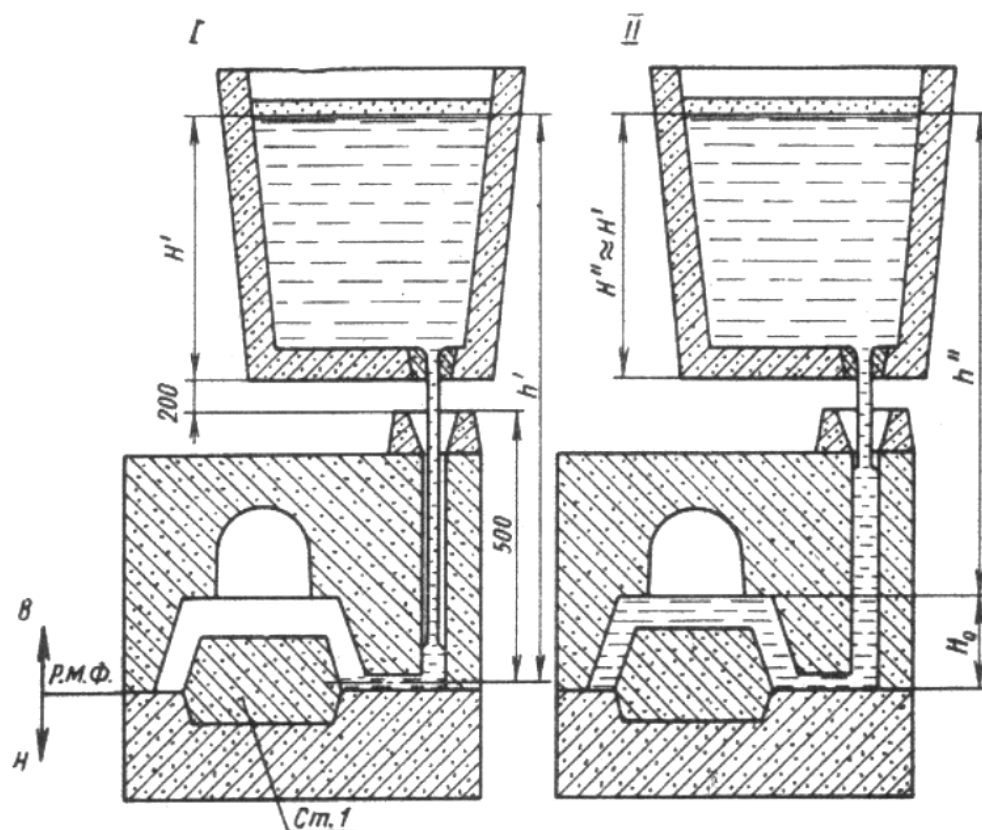


Рис. 13. Эскиз литейной формы

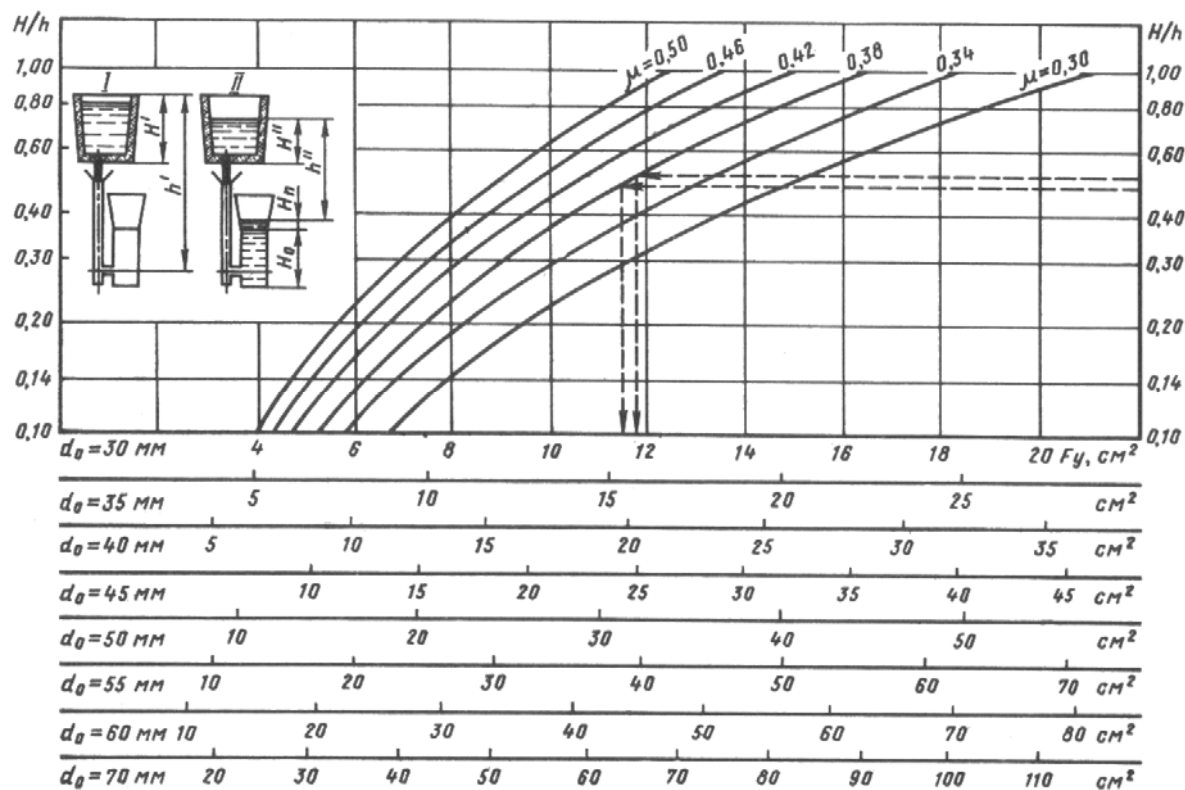


Рис. 14. Расчет элементов литниковой системы

6. Определить площадь поперечного сечения всех элементов литниковой системы.

6.1. Рассчитать площадь поперечного сечения стояка по его диаметру (табл.11).

Таблица 11

Зависимость диаметра стопорного стакана
от диаметра стояка

Диаметр стопорного стакана, мм	30	35	40	45	50	55	60	70
Диаметр стояка, мм	40	45	50	55	60	70	80	90 – 100

6.2. Площадь сечения литникового хода (шлакоуловителя) принять $F_{л.х} = F_y$.

6.3. Определить суммарную площадь поперечного сечения питателей:

$$\sum F_{пит} = (1,2 \dots 1,6) F_y.$$

6.4. Результаты расчетов представить в виде численных соотношений:

$$F_o : F_{ст} : F_{л.х} : F_y : \sum F_{пит}.$$

При заливке первой формы из полного ковша принимают заливку с торможением ($\beta_T = 1,5$), а при заливке последней формы – без торможения ($\beta_T = 1,0$).

Варианты заданий

Вариант	Масса отливки G_0 , кг	Число отливок в форме, шт	Высота отливки H_0 , мм	Толщина стенки отливки δ , мм	Марка стали	Вместимость ковша G_k , т
1	100	4	150	15	35Л	2
2	200	3	170	20	110Г13Л	3
3	300	2	200	30	20Х13Л	3
4	400	1	250	40	10Х18Н9ТЛ	4
5	500	1	300	50	30Х24Н12СЛ	6
6	200	4	170	15	110Г13Л	3
7	100	3	150	20	35Л	1
8	300	3	200	20	20Х13Л	4
9	200	2	170	30	110Г13Л	3
10	300	1	200	40	20Х13Л	4
11	400	2	250	30	10Х18Н9ТЛ	4
12	400	1	300	40	30Х24Н12СЛ	4
13	500	1	250	40	30Х24Н12СЛ	6
14	500	1	200	40	20Х13Л	4
15	400	2	300	30	10Х18Н9ТЛ	6
16	400	1	250	30	35Л	6
17	300	2	170	20	20Х13Л	4
18	200	3	150	15	110Г13Л	3
19	100	4	170	20	35Л	3
20	300	3	150	20	20Х13Л	4
21	400	1	300	30	20Х13Л	2
22	200	2	200	20	20Х13Л	2
23	100	2	200	15	20Х13Л	1
24	200	4	250	30	35Л	4
25	400	2	170	20	30Х24Н12СЛ	3
26	300	2	150	30	30Х24Н12СЛ	3
27	150	3	220	25	35Л	2
28	200	4	200	15	35Л	3
29	250	3	300	40	20Х18Н9ТЛ	4
30	300	1	200	15	20Х18Н9ТЛ	2

Контрольные вопросы

1. Какие дефекты отливок могут возникнуть, если продолжительность заливки будет занижена?
2. Какие дефекты отливок будут наблюдаться, если продолжительность заливки будет больше оптимальной?
3. От каких факторов зависит оптимальная продолжительность заливки?
4. Каково устройство стопорного ковша?
5. Каким образом обеспечивается равенство расходов металла при истечении его из ковша и заполнении литейной формы?
6. Как изменяется расход металла по мере выпуска его из ковша?
7. Как изменяется расход металла в течение заливки формы?
8. Что учитывает коэффициент размывания?
9. Каково должно быть соотношение элементов литниковой системы при одноярусной заливке стальных отливок?
10. Каково влияние вертикальной скорости подъема уровня жидкого металла в полости формы на качество отливки?

Практическая работа № 9

РАСЧЕТ МНОГОЯРУСНЫХ ЛИТНИКОВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ЗАЛИВКИ КРУПНЫХ ОТЛИВОК ИЗ СТАЛИ

Основная цель применения многоярусных литниковых систем – создание условий для последовательного изменения уровня подвода расплава в полость формы по мере заливки отливки. Идеальной следует считать такую литниковую систему, которая позволяет в каждый момент заполнения формы подводить металл по верхний затопленный уровень полости формы. При конструировании литниковых систем и при разработке технологии заливки необходимо стремиться к такой идеальной ситуации.

На рис. 15 изображена примерная упрощенная схема двухъярусной литниковой системы с обратным стояком, которая может служить прото-

типом для конструирования более совершенных, построенных по этому же принципу, литниковых систем (трех- и четырехъярусных, использующих несколько прямых и несколько обратных стояков при заливке из нескольких стопорных стаканов и из двух ковшей одновременно или поочередно).

Все элементы литниковой системы собираются из составных стыкуемых друг с другом стандартных огнеупорных трубок, тройников, переходников и других элементов.

При конструировании многоярусной литниковой системы следует придерживаться следующих рекомендаций, полученных опытным путем:

1) литниковый канал, соединяющий прямой стояк с обратным, необходимо располагать выше питателей первого яруса: $b=150 \dots 200$, мм (см. рис. 15);

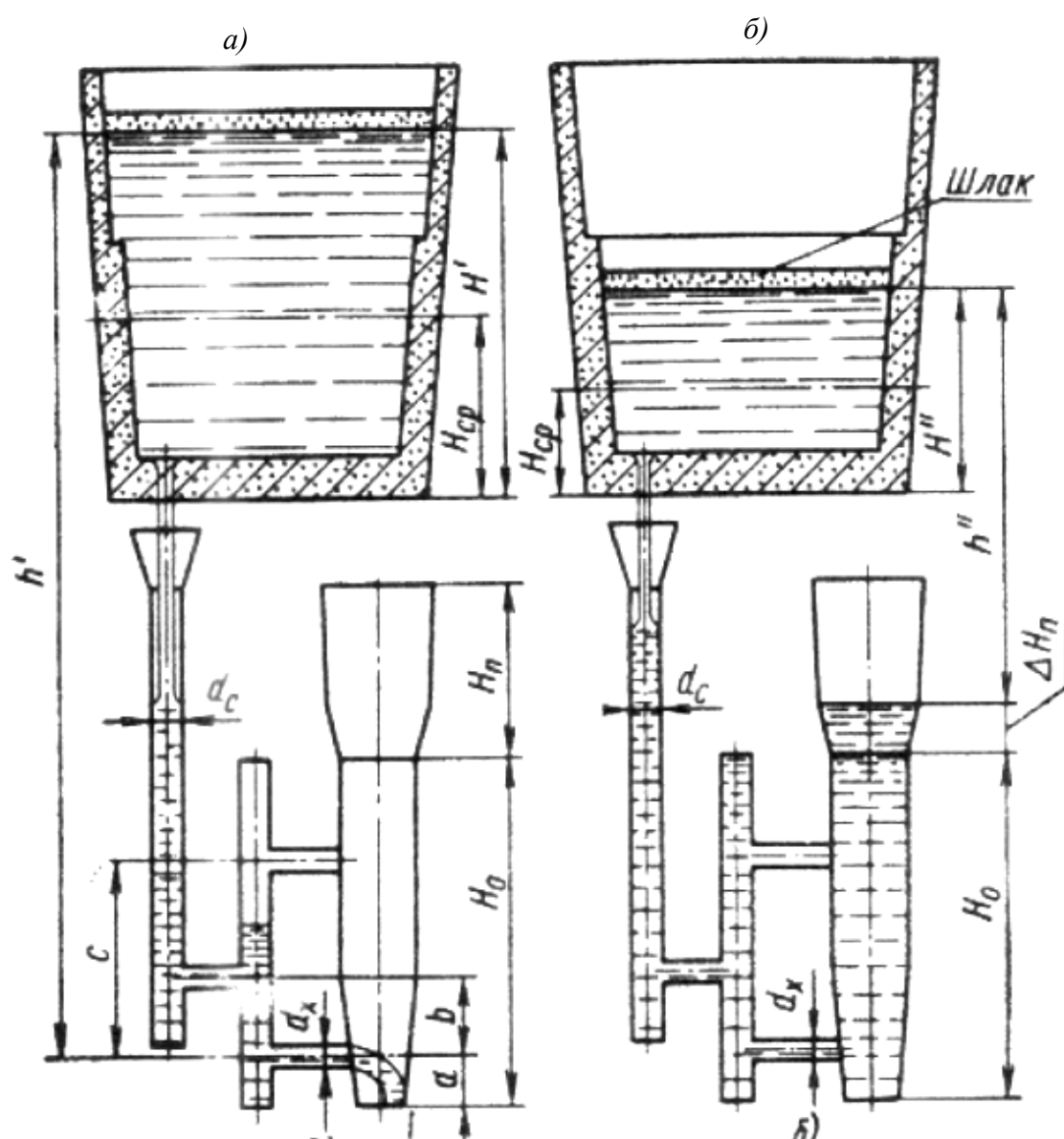


Рис. 15 Схема многоярусной литниковой системы

2) расстояния между уровнями смежных ярусов: $c \geq 550$ мм для ковшей вместимостью < 35 т, $c \geq 800$ мм для ковшей вместимостью > 35 т;

3) для верхних подприбыльных уровней желательно использовать индивидуальные ярусы, заливаемые через самостоятельные стояки;

4) подвод металла к обратному стояку и питатели желательно выполнять с сифонным наклоном.

Последовательность расчета

1. Определить массу жидкой стали G , требуемой для заполнения всей формы и нижних боковых прибылей и вывода металла в верхние прибыли:

$$G = G_o + G_{\text{л}} + \Delta G_{\text{п}},$$

где $G_{\text{л}}$ – масса металла на литниковую систему, $\Delta G_{\text{п}}$ – масса стали для заполнения нижних прибылей и вывода металла в верхние прибыли:

$$G_{\text{л}} = 0,05G_o; \Delta G_{\text{п}} = 0,1G_o.$$

2. Определить продолжительность заливки формы τ четырьмя способами:

а) по данным табл. 12;

б) по формуле $\tau = S\sqrt[3]{\delta G}$, где S выбрать по табл. 9;

в) по линейной вертикальной скорости подъема уровня жидкого металла в полости литейной формы V (см. табл. 13):

$$\tau = \frac{H_o + \Delta H_{\text{п}}}{V},$$

где H_o – высота отливки, $H_o = 4,4\sqrt[3]{G_o}$, см;

$\Delta H_{\text{п}}$ – высота выхода металла в верхние прибыли, $\Delta H_{\text{п}} = 200$ мм;

г) по рис. 16 или 17.

Таблица 12

Расчетная продолжительность заливки крупных стальных отливок τ

G , кг	Технологические группы отливок	τ , с, при расчетной толщине δ , мм			
		50	100	200	400 и более
15000	I и II	100	115	130	145
	III и IV	125	145	165	180
20000	I и II	110	125	140	160
	III и IV	135	160	180	200
25000	I и II	120	135	155	170
	III и IV	145	170	200	215
30000	I и II	130	145	165	190
	III и IV	135	180	210	240
40000	I и II	140	160	180	220
	III и IV	170	200	230	250
50000	I и II	150	170	195	215
	III и IV	185	215	245	300
100000	I и II	—	215	245	270
	III и IV	—	270	290	300

Таблица 13

Ориентировочные значения средней линейной скорости подъема уровня жидкой углеродистой стали V в полости заливаемой формы

δ , мм	V , мм/с, не менее, для технологических групп отливок			
	I	II	III	IV
До 10	20	16	12	10
10 – 40	16	12	10	8
40 – 70	12	10	8	8
Свыше 70	10	8	6	6

Примечание. При изготовлении отливок из высоколегированной стали приведенные значения V применяются с поправочным коэффициентом для сталей:

30X24H12CЛ2,
 10X18H9ТЛ1,8,
 20X13Л1,4,
 110Г13Л.....1,25.

Сравнить результаты расчетов по четырем способам и принять решение.

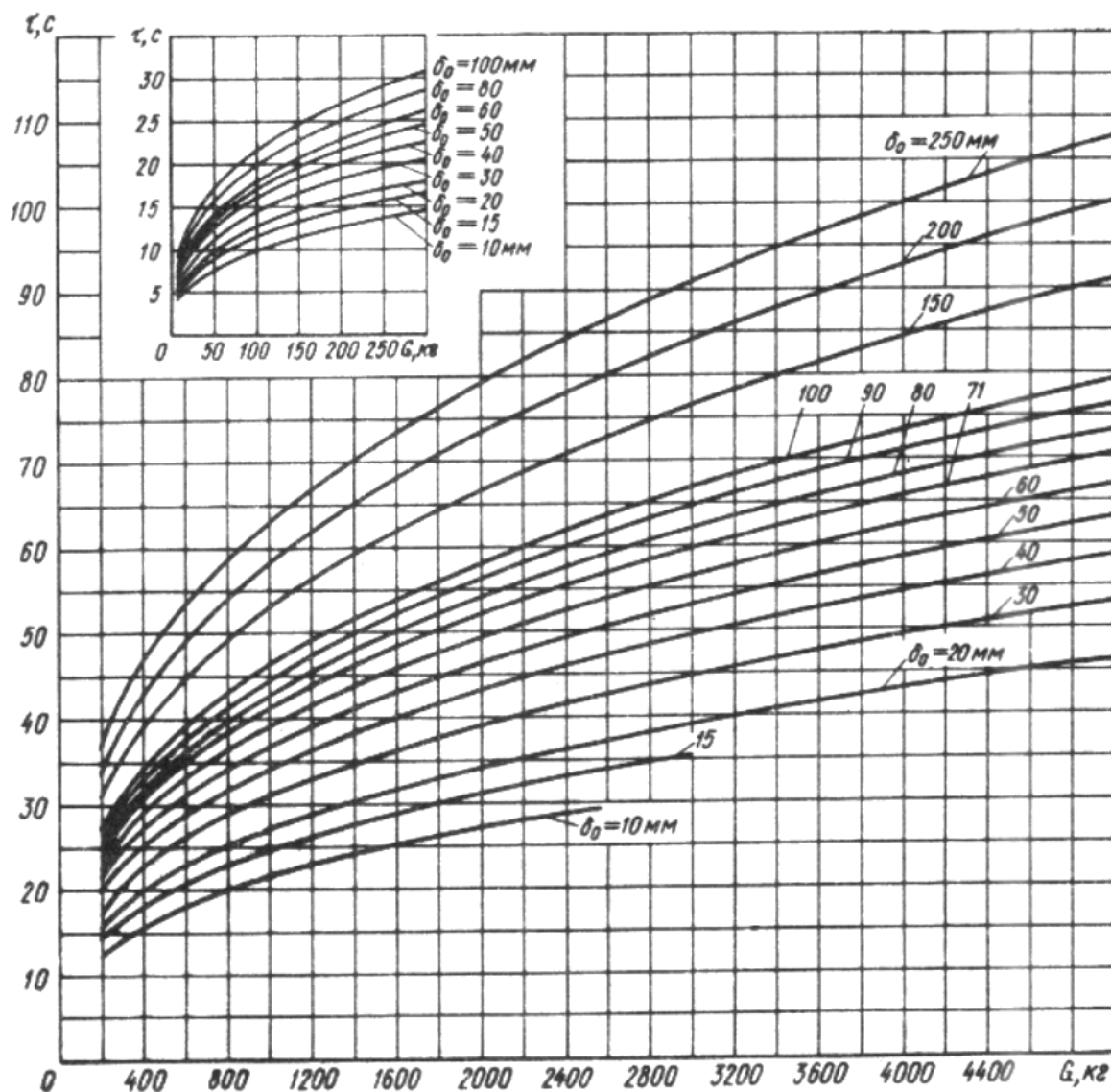


Рис. 16. Номограмма для расчета многоярусной литниковой системы

3. Выбрать вместимость ковша (ковшей): $Q \cong 1,3...1,6(G_0 + \Delta G_{\Pi}) \cdot 10^{-3}$, т и число ковшей – 1 или 2, из которых необходимо производить заливку.

4. Определить массовый расход металла для заливки отливки, кг/с:

$$\omega = G / \tau.$$

5. Определить диаметр d_0 и количество стопорных стаканов по табл. 10 и уточнить необходимое количество ковшей. Число стояков принять равным числу стопорных отверстий.

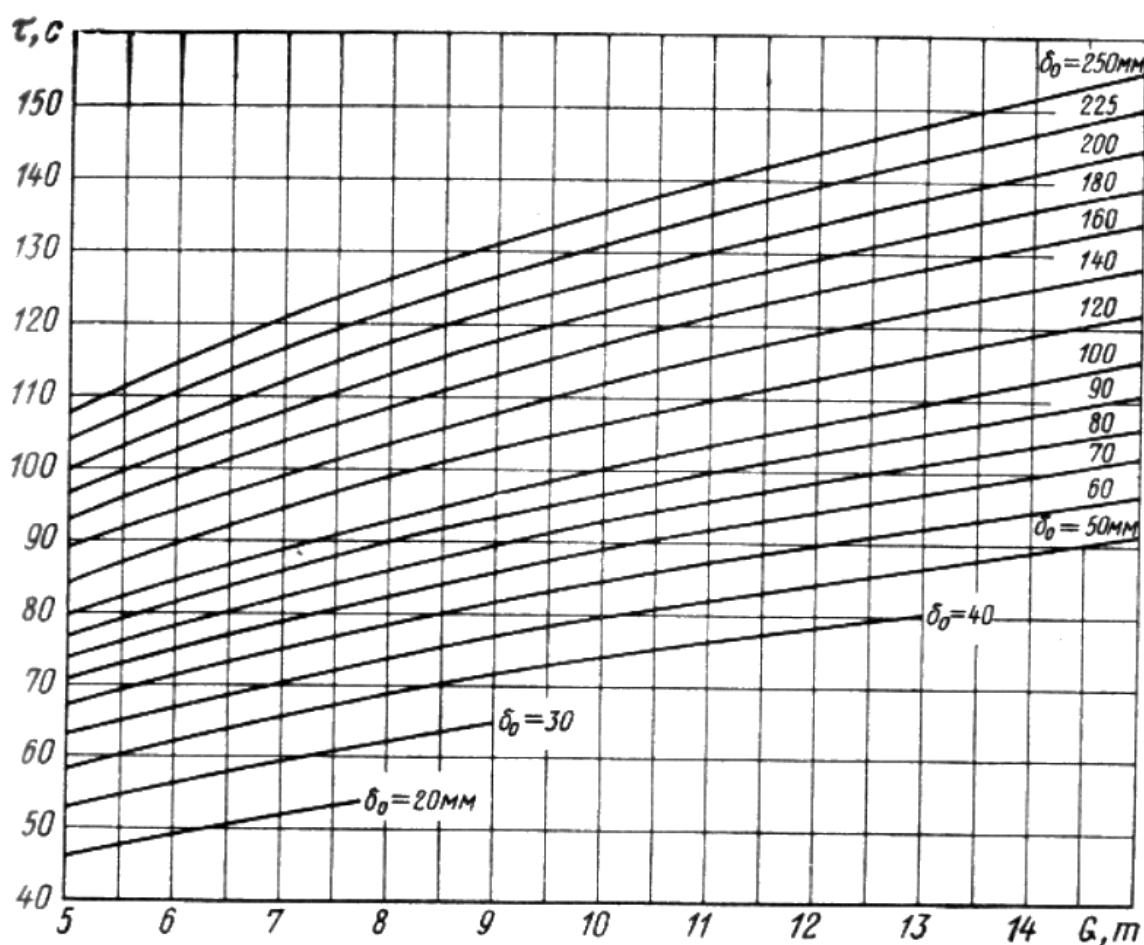


Рис. 17. Номограмма для определения времени заливки металла в формы

Весовой расход ω необходимо уменьшить пропорционально числу стопорных отверстий. Диаметр d_0 можно выбрать по средней величине высоты металла в ковше

$$H_{\text{ср}} = H^* + 0,5(H^{**} - H^*) = \frac{H^* + H^{**}}{2}.$$

Литниковая система рассматривается состоящей из нескольких систем, каждая из которых принадлежит одному стояку.

6. Вычертить эскиз заливаемой литейной формы и ковшей по типу рис. 15 и проставить на нем размеры $H', H'', h', h'', a, b, c, \Delta H_{\text{п}}$ (расстояние между воронкой и ковшом принять равным 400 мм, высоту прибылей $\Delta H_{\text{п}} = 0,5H_0$).

Определиться с числом ярусов литниковой системы в зависимости от H_0 и рекомендуемых расстояний между ярусами.

7. Определить коэффициент расхода μ многоярусной системы:

при $H_0 < 1000$ мм $\mu = 0,38 \dots 0,41$;

при $H_0 > 1000$ мм $\mu = 0,34 \dots 0,36$.

8. Определить значения F_y по номограмме (см. рис. 14) для начального и конечного моментов заливки литейной формы и отнести их к первому ярусу литниковой системы, приняв наибольшее из двух значений.

9. Определить площадь поперечного сечения литникового хода $F_{л.х}$, принимая $F_{л.х} \geq F_y$. При устройстве литниковых систем с обратным стояком считают, что литниковый ход – это канал, соединяющий прямой стояк с обратным.

10. Диаметр отверстия обратного стояка принять равным диаметру литникового хода.

11. Определить диаметр прямого стояка по данным, приведенным в табл.11.

12. Общую площадь поперечного сечения питателей $\sum F_{пит}$ принять равной:

в I ярусе системы $\sum F_{пит} = (1,3 \dots 1,5)F_y$;

во II и III ярусах системы $\sum F_{пит} \geq F_y$.

13. Результаты расчетов представить в виде таблицы:

Масса отливки, кг	Продолжительность заливки, с	Общий расход, кг/с	Число ковшей, шт., и их вместимость, т	Число ступеней и стояков, шт.	Диаметры ступеней отверстий, мм, и их площадь, см ²	Диаметры стояков, мм	Площади узких сечений, см ²	a, мм	b, мм	c, мм	Число ярусов литниковой системы

Варианты заданий

Вариант	Масса отливки G_o , кг	Технологическая группа	Толщина стенки δ , мм
1	50000	III	400
2	50000	III	200
3	40000	IV	100
4	40000	I	50
5	30000	IV	400
6	30000	I	200
7	25000	III	100
8	25000	II	50
9	25000	I	200
10	20000	III	100
11	20000	II	50
12	15000	I	100
13	15000	III	200
14	20000	II	400
15	20000	IV	200
16	30000	III	50
17	50000	III	100
18	40000	I	200
19	40000	III	400
20	50000	II	50
21	15000	IV	50
22	15000	I	400
23	25000	III	400
24	30000	I	100
25	40000	II	100
26	50000	I	300
27	40000	IV	300
28	30000	III	300
29	20000	I	100
30	30000	IV	100

Контрольные вопросы

1. С какой целью используются многоярусные литниковые системы?
2. Как правильно конструировать литниковые системы с обратным стояком?
3. Почему литниковые системы имеют не один, а несколько стояков?
4. Почему при заливке формы заполняют только часть прибыли, а не всю прибыль полностью?
5. Как изменяется расход металла от начала заливки формы к окончанию ее заполнения?
6. Почему рассчитывают сечения каналов в начале заливки формы и в конце?
7. Каким образом можно обеспечить подвод металла в верхние ярусы с прекращением подачи стали в нижние?
8. Какие дефекты отливок могут наблюдаться, если литниковая система имеет сечение меньше необходимого?
9. Каким образом можно регулировать скорость подъема зеркала металла в полости формы в зависимости от уровня заполнения формы?
10. Каким образом изготавливают каналы сложных литниковых систем?

Практическая работа № 10

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПРИБЫЛЕЙ ДЛЯ СТАЛЬНЫХ ОТЛИВОК

Заданием является одна из отливок, представленных в приложении 2 [5].

Последовательность расчета

1. Рассчитать массу отливки, определить размеры питаемых тепловых узлов, их объем и площадь поверхности.
2. Выбрать поверхность разъема формы, положение отливки в форме, конфигурацию стержней и стержневых знаков.

3. Спроектировать литниковую систему, места установки и конфигурацию прибылей.

4. Рассчитать прибыли по методам изотерм – изосолидусов, методу П.Ф. Василевского, КПД прибыли, модулю охлаждения, технологическому выходу годного [5].

5. Рассчитать прибыли по методу Намюра – Шкленника.

Расчет объема прибыли $V_{\text{пр}}$, см³:

$$V_{\text{пр}} = m\xi R_{\text{э.т.у}}^3 (1 + \beta)^3 YZ + 3\beta V_{\text{пит}},$$

где m – коэффициент неидентичности температуры металла в отливке и в прибыли, $m = 1$ при равных температурах, $m = 0,9$ при использовании проливных прибылей, когда отливка заполняется через прибыль, которая имеет температуру большую, чем отливка. Величину m выбрать из табл. 14 в зависимости от $L_{\text{пр.-пит}}$ (расстояние от питателя до прибыли) и δ (толщина стенки отливки);

Таблица 14

Зависимость коэффициента неидентичности температуры металла m от $L_{\text{пр.-пит}}$ и δ

$L_{\text{пр.-пит}} / \delta$	< 2	2 – 5	5 – 10	10 – 20	20 – 30	30 – 40
m	1	1,03	1,05	1,1	1,15	1,20

ξ – коэффициент конфигурации прибыли, $\xi = 108$ для закрытой цилиндрической прибыли, $\xi = 260$ для открытой цилиндрической прибыли;

$R_{\text{э.т.у.}}$ – эффективная приведенная толщина теплового узла, мм:

$$R_{\text{э.т.у.}} = \frac{V_{\text{т.у.}}}{F_{\text{э.т.у.}}}.$$

Здесь $V_{\text{т.у.}}$ – объем теплового узла мм³; $F_{\text{э.т.у.}}$ – площадь поверхности теплового узла без учета поверхности стыка теплового узла с прибылью и сопряженными стенками отливки, мм²;

Y – коэффициент неидентичности конфигурации, учитывающий не-одновременность затвердевания:

$$Y = \frac{\tau_{\text{отн.т.у.}}}{\tau_{\text{отн.пр}}},$$

где $\tau_{\text{отн.т.у.}}$ – продолжительность затвердевания теплового узла, с; $\tau_{\text{отн.пр}}$ – продолжительность затвердевания прибыли (табл. 15), с;

Z – коэффициент условий охлаждения.

$$Z = \frac{b_{\text{ф.пр.}}}{b_{\text{ф.отл.}}},$$

Здесь $b_{\text{ф.пр.}}$ и $b_{\text{ф.отл.}}$ – коэффициенты теплоаккумулирующей способности прибыли и отливки соответственно. Для неутепленных прибылей принять $Z = 1$;

$V_{\text{пит}}$ – объем питателя, мм³, $V_{\text{пит.}} = V_{\text{п.ч.о.}}(1 + 3\varepsilon_{\text{л}})$. Здесь $V_{\text{п.ч.о.}}$ – объем питаемой части отливки, мм³, $\varepsilon_{\text{л}}$ – коэффициент линейной усадки отливки;

β – коэффициент объемной усадки сплава: сталь – 0,08; чугун – 0,04; алюминий – 0,07; медь – 0,06.

Таблица 15

Продолжительность затвердевания теплового узла
в зависимости от конфигурации отливки

Конфигурация	$\tau_{\text{отн. т.у, с.}}$
Плита	1,54
Брус прямоугольный	1,42
Брус квадратный	1,27
Цилиндр, шар	1,0
Прибыль цилиндрическая закрытая	0,95

Рассчитать геометрические размеры прибылей.

Закрытые цилиндрические прибыли:

$$D_{\text{пр.}} = 1,01(V_{\text{пр.}})^{1/3}; \quad H_{\text{пр.}} = 1,25D_{\text{пр.}}.$$

Открытые цилиндрические прибыли:

$$D_{\text{пр.}} = 0,86(V_{\text{пр.}})^{1/3}; \quad H_{\text{пр.}} = 2,0D_{\text{пр.}}.$$

Боковые закрытые прибыли:

$$D_{\text{пр.}} = 0,95(V_{\text{пр.}})^{1/3}; \quad H_{\text{пр.}} = 1,5D_{\text{пр.}}.$$

6. Сравнить результаты, полученные при расчетах по пп. 4 и 5 и сформулировать выводы самостоятельно.

Контрольные вопросы

1. Для каких целей используют прибыли при изготовлении отливок?
2. Какую конфигурацию должны иметь прибыли?
3. Как правильно устанавливать прибыли?
4. Что такое тепловой узел?
5. Как прибыль должна соединяться с отливкой?
6. Как правильно определить места установки прибылей?
7. Что такое дистанция питания?
8. Как определить приведенную толщину теплового узла?
9. Какими способами можно утеплить прибыли?
10. Какими способами можно охладить отливку?

Практическая работа № 11

РАСЧЕТ ШИХТЫ ДЛЯ ЧУГУНА И СТАЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЬЮТЕРНОЙ ПРОГРАММЫ «ОРАКУЛ»

Цель данной работы:

- выбор рациональных шихтовых материалов, используемых при выплавке сталей и чугунов;
- формулирование условий металлургической плавки;

- расчет необходимого количества выбранных материалов;
- анализ результатов расчета, корректировка состава шихты способом подбора и проведения повторных расчетов для достижения заданного состава выплавляемого сплава.

Результаты должны быть представлены в виде компьютерных распечаток составов полученных сплавов и использованных для их выплавки шихтовых материалов.

Система «Оракул» основана на строгих физико-химических расчетах материального и энергетического балансов, а также на экономических расчетах. В основе системы лежит содержательное описание процесса плавки на базе теоретических знаний и практических приемов.

В дополнении к металлическим материалам программа «Оракул» позволяет учитывать вносимые составляющие шлаков, флюсов, подплавляющуюся футеровку печей, что позволяет моделировать весь процесс плавки и получать расчет образующихся составов металла, шлака, и газов, находящихся в равновесии. Это дает возможность не только рассчитывать шихту, но и проводить виртуальные исследования влияния состава шлаков и температуры плавки на содержание вредных примесей или восстановления некоторых легирующих элементов из шлака.

Система «Оракул» представляет собой совокупность различных по назначению взаимосвязанных частей, обеспечивающих работу программы в различных режимах, устанавливаемых по выбору пользователя. Коротко охарактеризуем программу в целом.

Запуск программы на выполнение осуществляется файлом «ORACUL.EXE». Ее работа начинается с чтения файлов, содержащих данные для расчетов, а именно: термодинамические свойства элементов («*.CON»), поправки на неравновесность процесса в различных периодах плавки («*.COR»), конфигурацию системы («*.PAR»), параметры взаимодействия («*.EPS»), составы шихтовых и легирующих материалов («*.MAT»). При загрузке программа сообщает о том, какие именно файлы с данными считываются: на фоне заставки с именем программы появляются окна-индикаторы. Как только закончится чтение, заставка исчезнет, и

устанавливается рабочий вид экрана, состоящий из строки меню, расположенной сверху, панели с несколькими окнами и статусной строки, расположенной снизу (рис. 18).

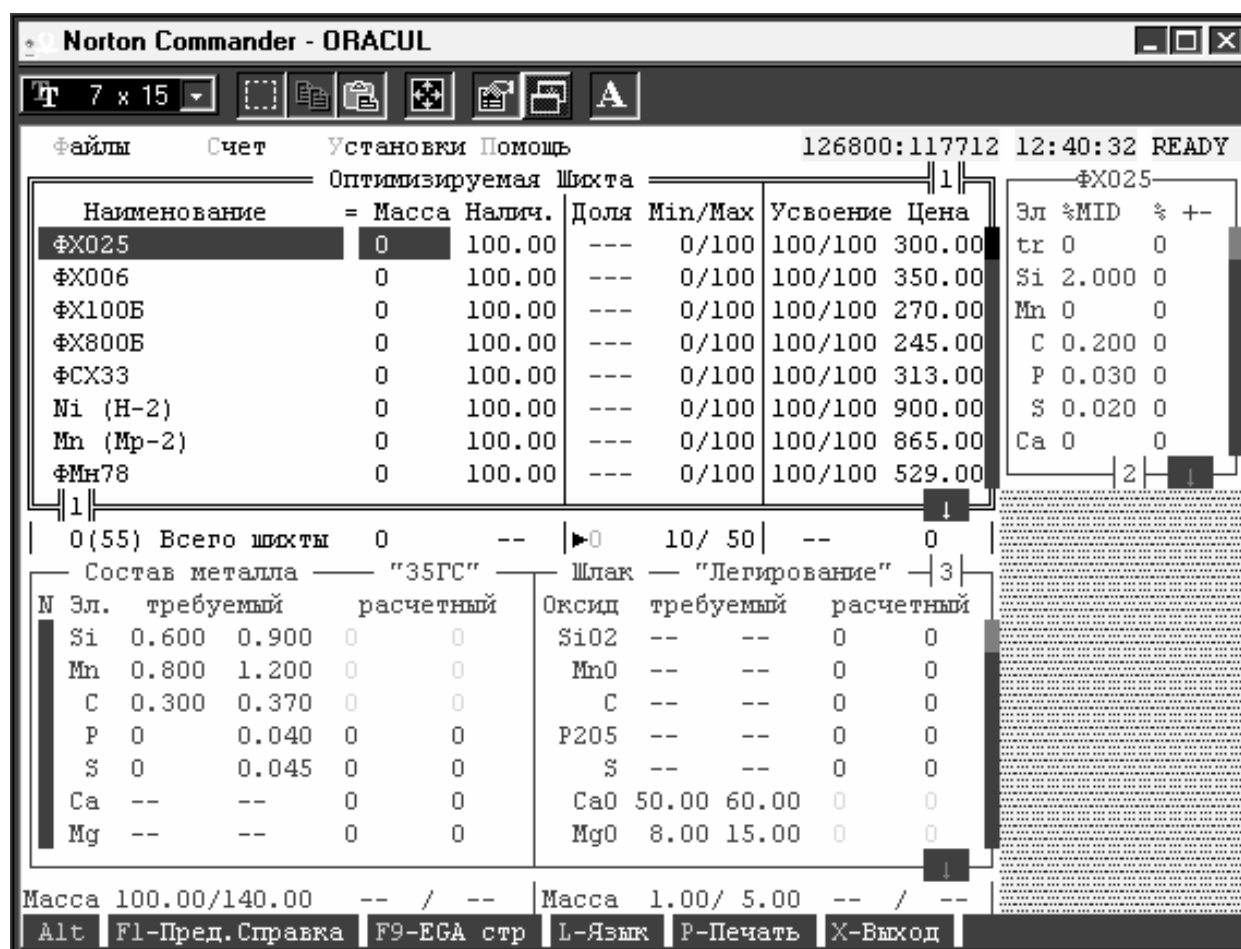


Рис. 18. Вид пользовательского экрана после запуска программы "Оракул"

В первой строке кроме пунктов меню представлен объем свободной памяти в байтах, после двоеточия – непрерывная свободная память, время суток (часы:минуты:секунды) и сообщение о готовности к диалогу (READY). Свободная память указана для оценки возможности загрузки дополнительного списка материалов, который добавляет ранее загруженный список.

На экране имеется 4 постоянных окна (подменю):

- «Оптимизируемая шихта» (1 – вверху слева);
- «Состав материалов» (2 – вверху справа);
- «Поэлементные данные» (3 – 5 – внизу слева);
- «Общие результаты» (внизу справа).

2 дополнительных окна (временно присутствующих на экране):

- «Усвоение»;
- «Адаптация констант».

Окна 1 – 2 находятся постоянно в верхней части экрана, а в нижней части – в зависимости от режима работы программы или по желанию пользователя открываются окна 3 – 5. Размеры каждого из окон вычисляются автоматически. Переключение между столбцами внутри окон и перемещение активного окна осуществляется клавишами перемещения курсора. Быстрое переключение активного окна выполняется при нажатии клавиши «Alt» и цифры, соответствующей номеру окна. Активное окно отмечается ярким цветом и двойной рамкой (остальные – одинарной). Просмотр осуществляется скроллингом окна с помощью клавиш навигации, стрелка в нижней части окон показывает направление прокрутки. Назначение каждого окна описано ниже.

Вся дальнейшая работа происходит в диалоговом режиме. Это означает, что все действия, а именно: расчеты по имеющимся режимам, операции с диском, просмотр окон скроллинга и др. программа производит по указанию пользователя. Диалог обеспечивается главным меню, подсказками в статусной строке, запросами подтверждения (требуют ответа Yes/No или Enter/Esc соответственно), подменю альтернативного выбора и др.

Выход из программы – по желанию пользователя, он возможен в любой момент диалога, когда программа ждет указаний от пользователя. При выходе большинство параметров записывается в конфигурационный файл «ORACUL.PAR» (если назначен соответствующий пункт меню «Установки/Окружение/Автосохранение конфигурации»), к ним относятся: имена файлов с данными для расчетов, значения большинства численных величин и установок. При следующем запуске автоматически назначается конфигурация, сохраненная в предыдущем сеансе работы.

Во время расчетов диалог прерывается, в правом верхнем углу экрана может появиться мигающая надпись «ЖДИ», по окончании расчетов выводится на экран окно с результатами (внизу слева), и система вновь готова к диалогу.

В любой момент времени расчет может быть прерван нажатием клавиши «Esc» (возможна небольшая задержка), при этом выдается соответствующее сообщение.

И наконец, внизу экрана находится статусная строка, которая в кратком виде подсказывает пользователю, к каким действиям приведет нажатие функциональных клавиш. При нажатии клавиш «Alt» или «Ctrl» статусная строка изменяет вид на альтернативный.

Главное меню

В главном меню имеется четыре подпункта, содержащих выпадающие меню, предназначенные для управления программой. Подпункт «Файл» позволяет пользователю работать с дисковыми файлами: просматривать, редактировать с помощью встроенного в программу текстового редактора, запоминать результаты расчета, загружать в память данные по ходу работы программы. С помощью подменю «Режим» или «Счет» можно выбрать, по какому пути направить работу программы для вычисления выходных параметров, при этом входные параметры задаются с помощью окон ввода-вывода. Подменю «Установки» служит для выбора условий расчета (методов, точности расчета, некоторых численных величин и др.) и вида окружающей среды программы (масштаб экрана, язык сообщений и др.). Подпункт «Помощь» содержит краткое описание программы.

Окно «Оптимизируемая шихта»

Предназначено для ввода и редактирования дополнительных ограничений, наличия и масс шихтовых материалов, а также масс металла и шлака, полученных в предыдущем расчете. Верхняя часть (за исключением последней строки) содержит в каждой строке информацию о каждом материале, при этом в строке выводятся:

- наименование;
- признак постоянного (фиксированного, неоптимизируемого) материала;
- масса;
- наличие;
- дополнительный признак;
- расчетная доля в шихте;
- заданные min и max ограничения на процентное содержание материала в шихте;
- min и max пределы «физического» усвоения материала;
- цена.

В нижней строке окна выводятся:

- число материалов с ненулевой массой и общее количество материалов в окне;
- общая масса шихты;
- суммарная доля материалов с дополнительным признаком;
- заданные $\min$ и $\max$ пределы по содержанию материалов с дополнительным признаком в шихте;
- суммарная стоимость шихты (включая стоимость исходных металла и шлака, если есть).

Количество шихтовых материалов в окне не ограничено. Клавишами вертикального перемещения осуществляется перемещение по списку материалов, а горизонтального – по редактируемой величине и/или между соседними окнами меню (в зависимости от состояния режима редактирования чисел). Диапазон вводимых величин: $0 \dots 10^{30}$ («Наличие»), $-10^{30} \dots +10^{30}$ («Масса»), $0 \dots 100$ («Ограничения на содержание ШМ»). Текущий состав материала отражается в окне «Состав материалов» (справа вверху). Кроме того, отрабатываются нажатия следующих клавиш:

- «Ins» – переместить материал из списка оптимизируемых в список неоптимизируемых, или наоборот.
- "+/-" (на цифровой клавиатуре «серые») – взять/удалить все материалы, т.е. то же, что «Ins», но перемещаются все материалы одновременно;
- «*» – установка/отмена дополнительного признака (ДП).

Номера материалов в каждом окне устанавливаются в соответствии с их последовательностью в файлах в следующем порядке:

- 1) неоптимизируемые с ненулевой массой;
- 2) оптимизируемые с ненулевой массой;
- 3) оптимизируемые с нулевой массой;
- 4) неоптимизируемые с нулевой массой.

При инициализации (первый вход в систему «Оракул») в список оптимизируемых материалов включаются все металлические с ненулевым наличием и нулевой массой. При любых перемещениях материалов между списками все изменения немедленно отображаются на экране.

Окно «Состав материалов»

Предназначено для ввода и редактирования составов шихтовых материалов, а также составов металла и шлака, полученных в предыдущем расчете. Клавишами вертикального перемещения осуществляется пере-

движение по списку элементов, а горизонтального – по редактируемой величине, таблице пределов составов и/или между соседними окнами меню (в зависимости от состояния режима редактирования чисел). Диапазон вводимых величин 0...100. Список элементов в окне совпадает со списком элементов для расчета в соответствии с состоянием окна «Поэлементные данные».

При выходе из окна «Состав материалов» (в том числе при запуске любого расчета) производится проверка суммы процентных содержаний элементов в редактируемом ШМ (отдельно для нижних и верхних пределов), и при ее отличии от 100 % выполняется пропорциональное изменение (пересчет) содержаний всех элементов для достижения указанной величины суммы, а вычисленные в результате этого коэффициенты нормирования переносятся в «физические» коэффициенты усвоения материала (в нижний и верхний предел соответственно).

Аналогичное преобразование производится автоматически для каждого материала при считывании исходных данных по составам материалов из дискового файла, поэтому сумма процентных содержаний элементов во всех материалах всегда равна 100 % (как для нижних, так и для верхних пределов).

Окно «Поэлементные данные»

В этом окне возможен вывод результатов расчета в виде 3 альтернативных окон, переключение которых производится циклически по клавишам «Tab» и «Shift» + «Tab»:

- окно 3 – исходные данные и результаты оптимизации шихты;
- окно 4 – массы элементов в системе металл – шлак – газ и составы металла и шлака в процентах по массе и активности компонентов этих фаз;
- окно 5– результаты расчета теплового баланса. Возможность открыть это окно появляется только при наличии таких результатов, т.е. после первого термодинамического расчета.

Клавишами вертикального перемещения осуществляется перемещение по списку элементов, а горизонтального – по редактируемой величине и/или между соседними столбцами окна (в зависимости от состояния режима редактирования чисел).

Окно 3 «Результаты оптимизации»

В окне 3 в строке состава металла выводятся: порядковый номер и обозначение элемента, требуемые нижний и верхний пределы состава го-

тового металла и расчетные нижний и верхний пределы ожидаемого состава металла, и то же для шлака. Требуемые пределы устанавливаются в соответствии с выбранными в пунктах «Установки/Оптимум/Состав металла» и «Состав шлака». Пределы ввода содержания элементов («Требуемый» состав металла и шлака) – 0...100. Расчетный ожидаемый состав стали не редактируется. Кроме того, в меню отрабатывается нажатие следующих клавиш:

- «Ins» – отметить (взять/удалить) элемент, на котором стоит курсор, в списке рассчитываемых элементов. Нельзя взять для расчета элемент Fe;
- «+/-» (на цифровой клавиатуре «серые») – отметить/отменить все элементы (кроме Fe);
- «Tab», «Shift» + «Tab» – переключение в другие альтернативные окна.

Номера элементов устанавливаются в соответствии с их последовательностью в файлах. При инициализации (первый вход в систему «Oracul») выбираются для расчета элементы с Min<Max в «Конечном» составе (кроме Fe). Если изменяется использование в расчете элемента, то окно перепечатывается.

Окно 4 «Термодинамические результаты»

При выводе составов металла и шлака в окне 4 также рассчитываются и отображаются в таблице на экране логарифмы активностей компонентов в этих фазах. Кроме того, для металла выводятся стандартные состояния, при которых рассчитаны указанные активности: символ «R» в правой части соответствующей таблицы определяет стандарт по Раулю (активность равна единице в чистом жидком элементе); символ «H» – по Генри (активность равна процентному содержанию элемента по массе в чистом железе при бесконечном разбавлении). Активности в металле выводятся при ненулевом содержании элемента в металле.

Активности компонентов шлака рассчитываются согласно стандарту по Раулю, т.е. активность равна единице в чистом жидком соединении, указанном в левой части соответствующей таблицы (оксиды или CaF_2), причем активность именно для соединения в таком виде, как оно записано (например, для P_2O_5 , а не $\text{PO}_5/2$). Активности в шлаке рассчитываются и выводятся при ненулевом содержании компонента шлака (т.е. при ненуле-

вых расчетных массах в шлаке соответствующего элемента Периодической системы и кислорода или Са и F для CaF_2).

В окне выводятся также процент извлечения элемента (отношение массы элемента в металле к общей массе элемента в системе, умноженное на 100) и коэффициент распределения элемента между шлаком и металлом (отношение массовых процентных содержаний элемента в шлаке и в металле).

В последней строке выводятся требуемые и расчетные массы металла, шлака, их общая масса и кратность шлака.

Окно «Общие результаты»

В правой нижней части экрана указываются значения установок, которые были сделаны перед расчетом: температура, методы расчета активностей и решения системы балансовых уравнений, а также результаты расчетов: оценка стабильности (если стабильность не нарушена, то в фазе данного состава нет расслоения – она гомогенна), массы металла и шлака и общая стоимость завалки (без стоимости энергоносителей, накладных расходов и прочего), достигнута ли заданная точность и за сколько итераций, значение уровня Ферми, являющегося мерой окисленности системы (это параметр модели коллективизированных электронов МКЭ), состав газовой фазы и заданное в установках давление в атмосфере печи, объем выделившихся продуктов сгорания углерода и масса избыточного углерода в виде графита, не растворившегося в металле.

Величины V_{gas} , P_{CO} , P_{CO_2} , $P_{\text{атм}}$ печатаются в том случае, если в расчете присутствовали углерод и кислород, причем V_{gas} печатается, если только была попытка расчета газовой фазы («Расчет газовой фазы» = «Да»). Объем газовой фазы V_{gas} выводится в пересчете на нормальные условия (20 °C, 1 атм).

Масса графита ($M_{\text{с}}$) печатается, если в расчете присутствовал углерод и была попытка расчета графита («Проверка наличия графита» = «Да»).

Как в этом меню, так и при выводе результатов на устройство по клавишам «Alt» + «Р» отображаются результаты предыдущего (последнего) расчета, при этом на указанный вывод не влияет изменение пунктов меню «Установки/Равновесие» вплоть до начала следующего расчета (но-

вые установки запоминаются и выводятся на экран лишь при начале нового расчета). При запоминании полученных металла и шлака в качестве исходных (в соответствующих строках окна «Оптимизируемая шихта») сохраняются полученные в результате термодинамического расчета составы и количества металла и шлака, а также суммарная стоимость использованных материалов, которая полностью переносится на металл (при этом устанавливается цена металла, равная отношению суммарной стоимости шихты к массе полученного металла); стоимость (цена) шлака считается равной нулю.

На рис. 19 представлен альтернативный вид экрана, где в окне 4 находятся результаты расчета равновесных составов металла, шлака и газовой фазы.

<

Рис. 19. Вид пользовательского экрана после расчета равновесия системы металл – шлак – газ

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основной

1. Чугун : справ. пособие / под ред. А. Д. Шермана и А. А. Жукова. – М. : Metallurgy, 1991. – 576 с.
2. Производство стальных отливок : учеб. для вузов / Л. Я Козлов [и др.] ; под ред. Л. Я. Козлова. – М. : МИСИС, 2003. – 352 с. – ISBN 5-87623-119-3.
3. *Василевский, П. Ф.* Технология стального литья / П. Ф. Василевский. – М. : Машиностроение, 1974. – 408 с.
4. *Гуляев, Б. Б.* Теория литейных процессов : учеб. пособие для вузов / Б. Б. Гуляев. – Л. : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1976. – 216 с.
5. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Технология литейного производства» / Владим. гос. ун-т ; сост. А. В. Панфилов, А. А. Панфилов. – Владимир : Ред.-издат. комплекс ВлГУ, 2004. – 64 с.

Дополнительный

1. *Нехендзи, Ю. А.* Стальное литье / Ю. А. Нехендзи. – М. : Metallurgizdat, 1948. – 766 с.
2. *Гиршович, Н. Г.* Кристаллизация и свойства чугуна в отливках / Н. Г. Гиршович. – М. ; Л. : Машиностроение, 1966. – 562 с.

О Г Л А В Л Е Н И Е

Практическая работа № 6. <i>Расчет литниковых систем для мелких отливок из серого чугуна</i>	3
Практическая работа № 7. <i>Расчет литниковых систем для внутриформенного модифицирования при получении отливок из высокопрочного чугуна</i>	16
Практическая работа № 8. <i>Расчет одноярусных литниковых систем для заливки стальных отливок</i>	23
Практическая работа № 9. <i>Расчет многоярусных литниковых систем для заливки крупных отливок из стали</i>	34
Практическая работа № 10. <i>Проектирование и расчет прибылей для стальных отливок</i>	42
Практическая работа № 11. <i>Расчет шихты для чугуна и стали с использованием компьютерной программы «Оракул»</i>	45
Библиографический список	55

ПРОИЗВОДСТВО ОТЛИВОК ИЗ ЧУГУНА И СТАЛИ

Методические указания к практическим занятиям

Часть 2

Составитель

КАЛЛИОПИН Иван Константинович

Ответственный за выпуск – зав. кафедрой профессор В.А. Кечин

Редактор И.А. Арефьева

Технический редактор Н.В. Тупицына

Корректор В.В. Гурова

Компьютерная верстка С.В. Павлухиной

Подписано в печать 13.10.06.

Формат 60x84/16. Бумага для множит. техники. Гарнитура Таймс.

Печать на ризографе. Усл. печ. л. 3,25. Уч.-изд. л. 3,75. Тираж 100 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета.

600000, Владимир, ул. Горького, 87.