



*There are offered nomographic charts for calculation and adjustment of mixture at casting of gray and white cast iron in cupola furnaces. The nomographic charts allow to reduce calculations of mixtures, to facilitate the receiving of the intended chemical composition, to forecast the receiving of the necessary content of carbon in white cast iron for provision of the normal foundry goods annealing.*

Л. З. ПИСАРЕНКО, Ф. С. ЛУКАШЕВИЧ, ОАО «МЗОО», Д. В. КУИС, БГТУ

УДК 621.74

## НОМОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА И КОРРЕКТИРОВКИ ШИХТЫ ПРИ ВЫПЛАВКЕ ЧУГУНА В ВАГРАНКАХ

В работе [1] показана возможность использования компьютерной программы расчета шихты. Предложенная программа позволяет производить расчеты не только шихты оптимального состава, но и выбирать ее наиболее дешевый вариант. В принципе программа может корректировать состав шихты, если реально загруженные завальщиком компоненты отличаются от заложенных в программе. В этом случае пересчитанные значения высвечиваются завальщику на индикаторе.

Общий недостаток программы — отсутствие автоматической корректировки шихты по ходу плавки, а ее реализация требует больших финансовых затрат. В связи с этим роль компьютерной программы сводилась лишь к расчету шихты, регистрации соотношения «металл—кокс» и массы загружаемых компонентов без автоматической корректировки по ходу плавки.

Однако необходимость в наличии простых, доступных и более совершенных методов не только расчета, но и немедленной корректировки шихты по ходу плавки в случаях отклонений от заданных значений потребовала создания универсальной номограммы, при использовании кото-

рой можно было бы значительно упростить расчет и корректировку шихты с обеспечением стабильного химического состава чугуна и экономии дорогостоящего ферросилиция.

Проблема усугубляется еще и тем, что в последние годы с целью снижения себестоимости радиаторов стали вполне обоснованно использовать повышенное количество чугунного лома, как и других металлопродуктов, взамен части чушковых чугунов. Это неизбежно привело к постепенному выхолащиванию из расплава углеродной фазы часто даже ниже допустимых пределов со всеми вытекающими последствиями, связанными с повышенным расходом кокса, перерасходом ферросилиция, случаями брака отливок по высокой твердости, спаям и недоливом.

Статистические данные за 2001 г., приведенные в табл. 1, показывают, как в течение года изменилось содержание углерода и кремния в чугуне в зависимости от процента чугунного лома в металлозавалке. Отмечено значительное уменьшение содержания углерода и повышенное содержание кремния по сравнению с принятыми по технологии.

Таблица 1. Изменение содержания в чугуне C и Si в зависимости от процента чугунного лома в шихте

Месяц	Углерод		Кремний		% чугунного лома от металлозавалки
	от	до	от	до	
Январь	3,38	3,52	2,27	2,66	32,7
Февраль	3,42	3,51	2,19	2,57	33,8
Март	3,39	3,53	2,27	2,54	41,9
Апрель	3,35	3,46	2,40	2,74	50,5
Май	3,30	3,44	2,46	2,78	48,0
Июнь	3,37	3,45	2,33	2,64	40,1
Июль	3,32	3,46	2,33	2,68	55,9
Август	3,28	3,46	2,36	2,73	41,2
Сентябрь	3,38	3,51	2,30	2,66	37,7
Октябрь	3,45	3,59	2,24	2,67	29,6
Ноябрь	3,41	3,53	2,29	2,60	31,2
Декабрь	3,48	3,60	2,30	2,84	11,6

Поэтому необходимо решать задачу не только точной корректировки добавок ферросилиция и других компонентов шихты, но и определять, в каком соотношении и какие марки чушковых чугунов обеспечат получение чугуна заданного состава по углероду.

Создание универсальной номограммы для расчета и корректировки состава шихты проводили для условий литейного цеха радиаторов ОАО «Минский завод отопительного оборудования». Для выплавки чугуна в ЛЦР использовали вагранки холодного дутья производительностью 16 т/ч. Согласно существующей технологии, установлен следующий химический состав чугуна для радиаторов, мас. %: С — 3,6–3,9; Si — 2,0–2,6; Mn — 0,5–0,9; S не более 0,12, P не более 0,3.

Для расчета шихты использовали принятую на заводе методику, позволяющую учитывать угар и пригар элементов не только в жидком чугуне, но и во вносимых ферросплавах (ФС45, ФМн70). Так, угар кремния в чугуне принят 15%, марганца — 20%, а при введении в металлозавалку ФС45 и ФМн70 угар составил соответственно 25 и 30%. Для получения чугуна марки СЧ10 по технологии предусмотрено использовать до 50% литейных чугунов, остальное лом и возврат.

При построении номограммы расчеты шихты производили на металлозавалку массой 1350 кг, принятую по технологии с учетом установленной на 2003 г. величины возврата, равной 28,3% или 382 кг, и получения в чугуне 2,3% кремния за счет добавки в шихту сверх 100% ферросилиция ФС45.

Содержание углерода и кремния на номограмме (рис. 1) приведено по средним значениям. Реальный химический состав по С и Si вновь прибывших чушковых чугунов возможно учитывать путем экстраполяции промежуточных значений. Предложенная номограмма позволяет проследить возможность применения всех марок литейных и передельных чугунов с получением содержания углерода от 3,35 до 3,95% при фиксированном содержании 2,3% Si.

Рассмотрим примеры расчетов по номограмме для получения в чугуне содержания 2,3% Si на металлозавалку 1350 кг.

**Пример 1.** Определить величину добавки ФС45 и расчетную величину содержания углерода в чугуне при использовании шихты, состоящий из 35% чушкового чугуна марки ЛЗ, 28,3% возврата, 36,7% чугуна лома.

Определяем, что при этом надо добавить 10 кг ФС45. Содержание углерода равно 3,55%.

**Пример 2.** На складе имеются чугун марки Л4, чугуна лом и возврат. Определить, сколько надо добавить в металлозавалку чугуна марки Л4, чтобы получить в выплавляемом чугуне содержание углерода 3,5%.

По верхнему графику находим точку пересечения линии «3,5% С» с линией «Л4». Точка пере-

сечения соответствует шихтовке 364,5 кг Л4, 603,4 кг чугуна лома, 382 кг возврата. Итого 1350 кг.

**Пример 3.** Если, например, вместо 405 кг чугуна марки ЛЗ загрузили в бункер весовой тележки 460 кг. Тогда производим корректировку и вместо 8 кг ФС45 добавляем 6 кг, соответственно уменьшаем добавку чугуна лома на 55 кг.

Использование универсальной номограммы позволит стабилизировать состав чугуна по С и Si, рационально использовать чушковые чугуны, снизить брак, повысить качество литья, обеспечить экономию дорогостоящего ферросилиция.

При выплавке белого чугуна на ОАО «МЗОО» используют вагранки с малой высотой горна (100–150 мм) и передним стационарным копильником. При такой конструкции вагранки металл не задерживается в горне, где он больше всего подвергается науглероживанию.

Для белого чугуна необходимо производить расчет не только на кремний и марганец, но и на углерод, так как его содержание претерпевает значительные изменения из-за многообразия процессов, происходящих при плавке чугуна в вагранке.

Капли расплавленного металла при соприкосновении с раскаленным коксом науглероживаются. В зоне плавления и ниже, до самых фурм, эти же капли встречаются с раскаленными газами и в зависимости от степени их окисленности и температуры происходит угар Si и Mn. По мере приближения капель к фурменному поясу начинает угорать и углерод, причем в тем большей степени, чем выше его содержание в чугуне. При плавке белого чугуна капли металла достигают фурменного пояса более науглерожеными, так как малоуглеродистая шихта более склонна к поглощению углерода из кокса и этот процесс превосходит обезуглероживание газами. Ниже уровня фурм окислительных газов нет и там происходит только науглероживание жидкого металла из кокса. Поэтому, чтобы избежать излишнего науглероживания при выплавке белого чугуна, и используют вагранки с низким горном.

Таким образом, количество углерода в готовом чугуне представляет собой результирующую величину процессов угара и пригара, происходящих до достижения чугуном летки вагранки, при этом важную роль играет температура чугуна. Принято считать, что чем больше вводится стали в чугун, тем меньше углерода в готовом чугуне. Однако из этого не следует делать вывод, что при введении стали в шихту уменьшается содержание углерода. Наоборот, с увеличением добавок стали повышается науглероживание чугуна, и чем беднее шихта углеродом, тем большее поглощение углерода из кокса. Как правило, увеличение пригара углерода не покрывает его снижение в шихте из-за ввода стали. Поэтому с увеличением количества стали содержание углерода в шихте уменьшается.

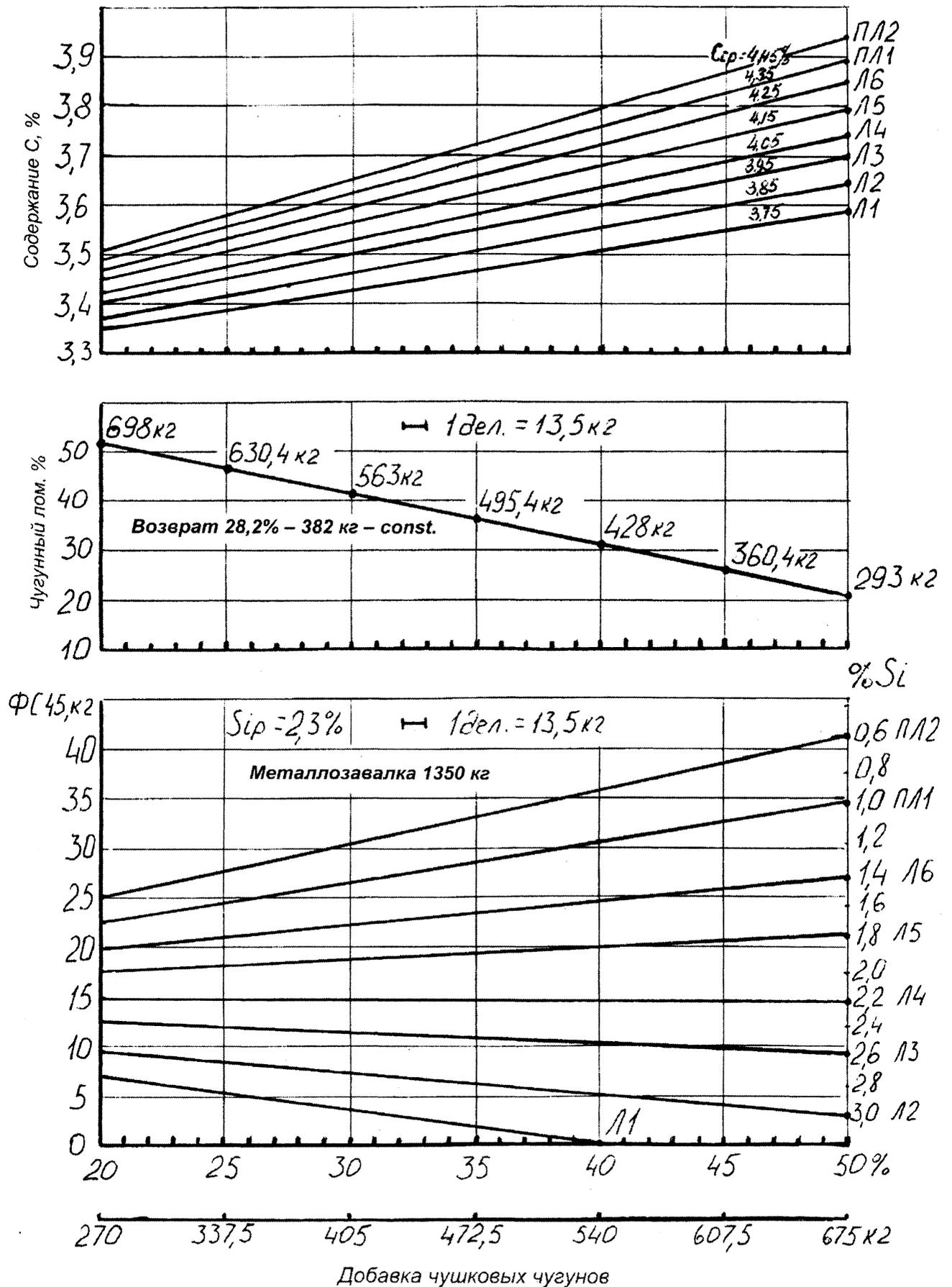


Рис. 1. Номограмма для расчета шихты серого чугуна СЧ10 в ЛЦР

Наличие стали в шихте само по себе является фактором, обуславливающим ведение плавки при повышенных температурах расплавленного металла, так как сталь плавится при температуре выше 1500°C, а чугун – при температуре 1150°C. Это значит, что в копильник попадают капли, имеющие температуру более 1500°C, которые обуславливают ведение процесса при повышенных температурах [2].

При расчете шихты для белого чугуна важное значение имеет получение заданного содержания углерода в литье. Расчетные значения углерода в шихте всегда получают ниже, чем в литье. Пригар углерода зависит от величины добавки стали в шихту, содержания углерода в других составляющих шихты.

Статистические данные показывают, что расход стального лома в 2002 г. на ОАО «МЗОО» для белого чугуна фактически составил 2916,8 т (18,52% от металлозавалки). С учетом углерода, вносимого всеми компонентами, среднее содержание углерода в шихте ( $C_{ш}$ ) равно 2,659%, в литье ( $C_{л}$ ) – 3,0%. Пригар углерода составляет 0,3410% (табл. 2).

Для определения коэффициента, учитывающего пригар углерода в зависимости от содержания стали, используем следующую эмпирическую формулу:

$$C_{л} = C_{ш} + KX,$$

где  $C_{л}$  – содержание углерода в литье, равное 3%;  $C_{ш}$  – содержание углерода в шихте, равное 2,659%;  $X$  – содержание стали в чугуне, равное 18,52%;  $K$  – коэффициент, учитывающий влияние добавок стали на пригар углерода.

Тогда

$$3,0 - 2,659 = K \cdot 18,52,$$

$$0,341 = K \cdot 18,52,$$

$$K = \frac{0,341}{18,52} = 0,01841$$

и формула приобретает вид  $C_{л} = C_{ш} + 0,01841X$ . По этой формуле возможно производить расчеты и прогнозирование содержания углерода в литье при добавках в шихту различного количества стали (до 30%). Близкие значения коэффициента  $K$  получены также при его расчетах для ежедневных шихтовок.

Таблица 2. Определение пригара углерода на белом чугуне

Наименование материала	Марка	ГОСТ или ТУ	Содержание С в шихте, %			Содержание С в шихте и металле	
			C=2,9 Y=+14,67	C=3,05 Y=+13,41	C=3,0 Y=+12,82	в шихте	в литье
Чугун литейный	ЛЗ-Л6	4832-95	16,98	18,86	18,86	3,96	0,7469
Лом стальной	1А, 4А	2787-75	20,33	18,52	18,52	0,3	0,0556
Ферросилиций 45	ФС45	1415-93	1,33	1,26	1,26	0,5	0,0063
Ферромарганец	ФМн70	4755-91	0,26	0,26	0,26	6,6	0,0172
Возврат	–	–	61,1	61,1	61,1	3,0	1,8330
Итого			100	100	100	–	2,6590
Пригар углерода, %			$K=0,01825$	0,01947	0,01841	+12,82	0,3410
Содержание углерода в литье, %							3,0

С использованием данного коэффициента можно прогнозировать содержание углерода в литье и определять процент его пригара в зависимости от величины добавок стали в шихту. Как видно из рис. 2, процент пригара углерода повышается с увеличением добавки стали. При отсутствии в шихте стали  $C_{л} = C_{ш}$ , т. е. в мягких высокоуглеродистых чугунах, пригар углерода при регулярном отборе металла из вагранок практически отсутствует.

С учетом полученных данных построена номограмма расчета шихты для белого чугуна ЛЦКСЧ ОАО «МЗОО» (рис. 3).

Для получения белого чугуна, содержащего 2,7–3,2% С, 1,1–1,6% Si, 0,55–0,65% Mn, по технологии предусмотрено использовать 20–25% стального лома, 15–20% чушковых чугунов марок Л4-Л6, возврат составляет в среднем 60%. Масса металлической завалки – 900 кг.

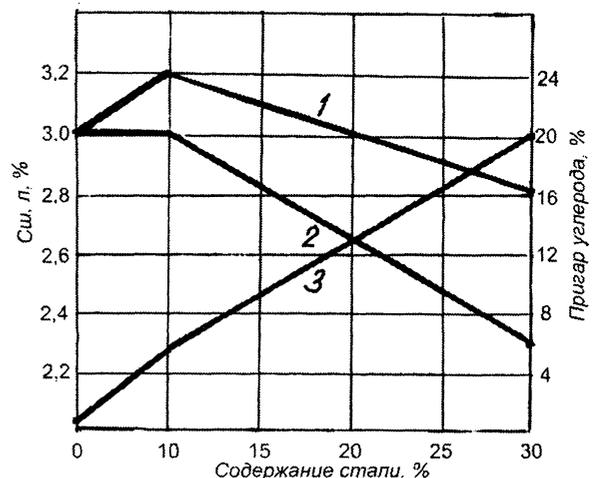


Рис. 2. Изменение содержания углерода в литье ( $C_{л}$ ) в зависимости от содержания в шихте стали: 1 – содержание углерода в литье  $C_{л}$ , %; 2 – содержание углерода в шихте  $C_{ш}$ , %; 3 – пригар углерода, %

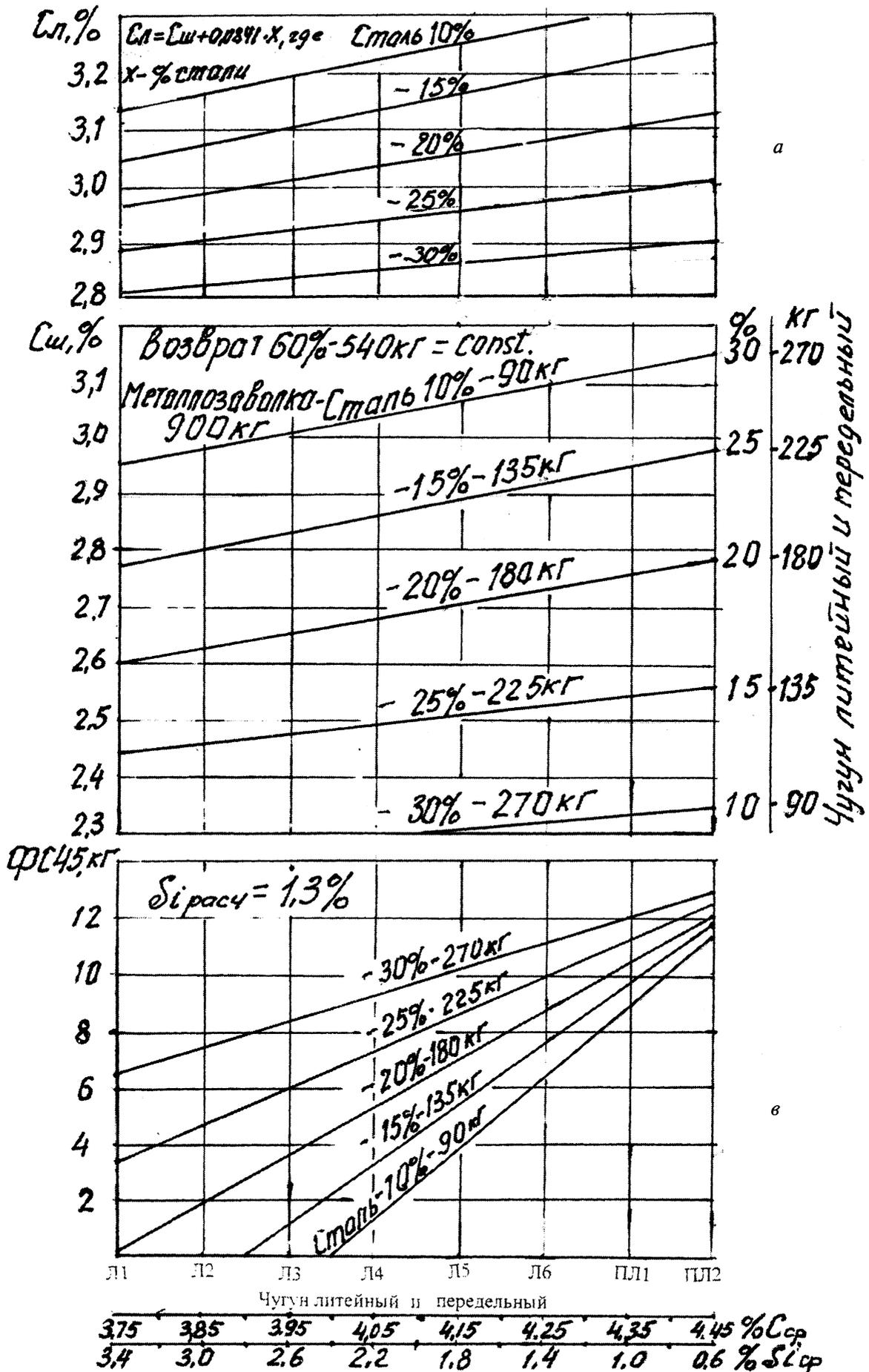


Рис. 3. Номограмма для расчета шихты белого чугуна

При построении номограммы использовали расширенный диапазон по добавкам стали от 10 до 30% с расчетом возможности ее использования не только для получения ковкого чугуна КЧ30-6, но и для более высоких его марок. На рис. 3, в приведен расчет добавок ФС45 по принятой на заводе методике расчета шихты при использовании в шихте как литейных (Л1-Л6), так и передельных (ПЛ1-ПЛ2) чугунов с расчетом получения в литье 1,3% Si.

На рис. 3, б приведены расчетные данные по содержанию углерода в шихте. По данному графику определяются в % и кг все составляющие металлозавалки в зависимости от наличия на складе тех или иных литейных или передельных чугунов.

При помощи рис. 3, а определяются возможные границы использования литейных и пере-

дельных чугунов в зависимости от содержания в них углерода и количество вводимой в шихту стали. При этом пригар углерода не должен превышать верхнего (3,1%) и нижнего (2,7%) пределов содержания углерода в литье.

Приведенные номограммы расчета и корректировки шихты для чугуна СЧ10 и белого чугуна возможно также использовать в качестве базы данных для создания компьютерных программ.

#### Литература

1. Архангельский А. В., Савостов В. Ф., Писаренко Л. З., Вершинин В. А. Опыт использования компьютерной программы расчета шихты // Литье и металлургия. 2000. № 2. С. 37.
2. Ланда А. Ф. Основы получения чугуна повышенного качества. М.: Машиностроение, 1960.