

## ДИНАМИКА НАРАСТАНИЯ И ОПОЛЗАНИЯ ГАРНИССАЖА НА СТЕНКАХ ФУТЕРОВКИ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

*Приведені результати практичних досліджень динаміки розгару футеровки, утворювання та оповзання гарніссажу.*

### **Проблема и её связь с научными и практическими задачами.**

В процессе работы доменных печей наблюдаются случаи периодического ухудшения показателей работы из-за загромождения горна [1]. Одной из основных причин загромождения является нарушение распределения газового потока по сечению печи, что приводит к усилению образования гарниссажа на стенах и к периодическому оползанию его в горн [2].

В зависимости от условий и режима работы доменной печи кладка шахты, распара и заплечиков изнашивается в большей или меньшей степени, претерпевая многообразные воздействия: температурные напряжения, давление газов, шихты и жидких продуктов плавки, химическое воздействие, абразивное воздействие опускающихся шихтовых материалов и восходящего потока газа, несущего большое количество пыли и т. д. Тепловые воздействия, давление газов, шихты и жидких продуктов плавки увеличиваются от верхних зон к нижним. При повышении температуры также усиливается насыщение огнеупорного материала примесями, понижающими его огнеупорность, что способствует разрушению кладки печи. Фактический профиль доменной печи постоянно меняется в процессе плавки вследствие разгара стен, а также по причине образования гарниссажа.

Гарниссаж представляет собой сплавленную с огнеупорной кладкой печи массу, состоящую из железорудных материалов, флюсов и кокса. В процессе работы доменной печи происходит более или менее интенсивное нарастание гарниссажа, причём нарастание это идёт неравномерно как по высоте, так и по окружности профиля футеровки.

### **Анализ результатов теоретических и практических исследований образования и оползания гарниссажа на стенах футеровки доменной печи.**

При повышении общего нагрева печи зона плавления и размягчения шихтовых материалов смещается вверх и при последующем снижении нагрева печи до нормального происходит охлаждение и налипание разжиженного шихтового материала на стенки шахты печи. Это приводит к росту гарниссажа на всей площади поверхности внутреннего профиля шахты, распара и

запечников. Кроме того, может быть местное нарастание гарниссажа, когда вследствие газораспределения происходит локальное (в каком-либо узком участке возле стенки доменной печи) повышение температуры шихтовых материалов.

Как уже отмечалось ранее, гарниссаж может быть устойчивым и неустойчивым. Поэтому в процессе работы доменной печи происходит не только нарастание, но и периодическое оползание гарниссажа в горн.

Оползание гарниссажа представляет собой скользящее местное смещение со стен шахты, распара и запечников и опускание вниз печи застывшей оплавленной массы из железорудных материалов, кокса и флюса. Оползания гарниссажа могут быть односторонние – в каком либо отдельном секторе печи, или кольцевые – по всей площади внутренней поверхности. Кольцевые оползания приводят к более тяжёлым последствиям и расстройствам хода, так как в горн приходит большое количество неподготовленного материала, загромождается большой объём горна доменной печи и значительно понижается тепловое состояние, поскольку при движении слоя гарниссажа сверху вниз вместе с шихтой он не успевает прогреться и подвергнуться достаточному физико-химическому воздействию газового потока, направленного снизу вверх, т.к. в отличие от разрыхлённой шихты представляет собой плотный конгломерат.

Кроме того, при оползании гарниссажа стены шахты, распара, запечников теряют защитный слой в виде гарниссажа и тепловые потери через кладку печи увеличиваются, что приводит в свою очередь также к похолоданию печи.

Так как оползание гарниссажа непосредственно влияет на увеличение тепловых потерь в доменной печи, то характерные признаки оползания можно определить по расходу воды, идущей на подпитку испарительной системы охлаждения. При скачкообразном увеличении расхода воды на одном или нескольких баках-сепараторах испарительной системы охлаждения печи фиксируется очередное оползание гарниссажа, так как при этом резко уменьшается толщина кладки, и, соответственно, увеличиваются тепловые потери, что вызывает увеличение расхода воды на подпитку системы испарительного охлаждения.

**Постановка задачи.** Изучить динамику разгара футеровки, формирования и оползания гарниссажа, влияние оползания гарниссажа на ход доменной плавки.

На доменной печи объёмом 3000 м<sup>3</sup> динамику разгара шахты определяли по изменению расхода воды, идущей на подпитку испарительной системы охлаждения [3].

Результаты исследований за два последних года предыдущей компании и два первых года новой компании представлены на рисунках 1 и 2 соответственно.

Разгар шахты доменной печи происходит в течение 4-5 лет. На протяжении первых двух лет расход воды, идущей на подпитку баков-сепараторов не превышает  $4 \times 10^3$  кг/ч. Затем происходит интенсивный разгар кладки шахты и распара. В течение последующих 2-3 лет расход воды на баке-сепараторе увеличивается в 8-10 раз, при этом шахта разгорается до такой степени, что становится непригодной для дальнейшей эксплуатации.

На рисунке 3 показан рост среднеквадратичного отклонения расхода воды, идущей на подпитку бака-сепаратора испарительной системы охлаждения в зависимости от длительности кампании шахты печи. Так, в начале, среднеквадратичное отклонение колебания расхода воды составляло 200-300 кг/ч. Колебание расхода воды, идущей на подпитку системы охлаждения, происходит в результате изменения величины теплового состояния печи, характера движения газов (периферийного или осевого), а, кроме того, образования и оползания гарниссажа. Поскольку кладка шахты и распара в начале кампании имеет проектную толщину, количество образующегося гарниссажа на их поверхности незначительно, оползание гарниссажа не оказывает существенного влияния на ход доменной печи.

По мере разгара кладки низа доменной печи среднеквадратичное отклонение расхода воды, идущей на подпитку испарительной системы охлаждения увеличиваются, к концу кампании печи достигает 1600-2000 т/ч. Прямо пропорционально увеличению разгара кладки низа печи увеличивается толщина гарниссажа в результате понижения температур на стенах футеровки из-за эффективного охлаждения.

Количество случаев оползания гарниссажа в течение года эксплуатации составило 61. А к концу кампании, по сравнению с предыдущей, частота оползания увеличилась в 2-3 раза.

С увеличением частоты оползаний гарниссажа увеличивается и количество приходящего в горн неподготовленного материала, что с каждым разом приводит к всё более тяжёлым последствиям расстройств хода доменной печи.

Оползание гарниссажа происходило обычно при тихом ходе, когда работа печи с низким расходом дутья приводит к резкому перераспределению газового потока и температурных зон. Основной поток газов при этом концентрируется у периферии, повышая температуру на более высоких горизонтах шахты печи. Такой режим приводит к оползанию гарниссажа и перерасходу кокса. Периферийный ход, осадка шихты – основные причины оползания гарниссажа, хотя оползание может произойти и при обрыве шихты вследствие тугого хода печи.

Оползший гарниссаж движется вместе с шихтовыми материалами и, в зависимости от места его оползания, время его движения до попадания в горн может существенно различаться. Среднее время пребывания оползшего

гарниссажа в печи до воздействия его на химический состав продуктов плавки определяли по формуле

$$t = 0,5 \times \frac{24 \times V_{пол.}}{V_0 \times П} + \tau ,$$

где 0,5 – коэффициент среднего расположения оползшего гарниссажа по высоте печи;  $V_{пол.}$  – полезный объём доменной печи,  $m^3$ ;  $V_0$  – расход сырых материалов на 1 тонну чугуна,  $m^3$ ;  $П$  – производство чугуна в сутки, тонн;  $\tau$  – время запаздывания влияния гарниссажа на тепловое состояние горна печи.

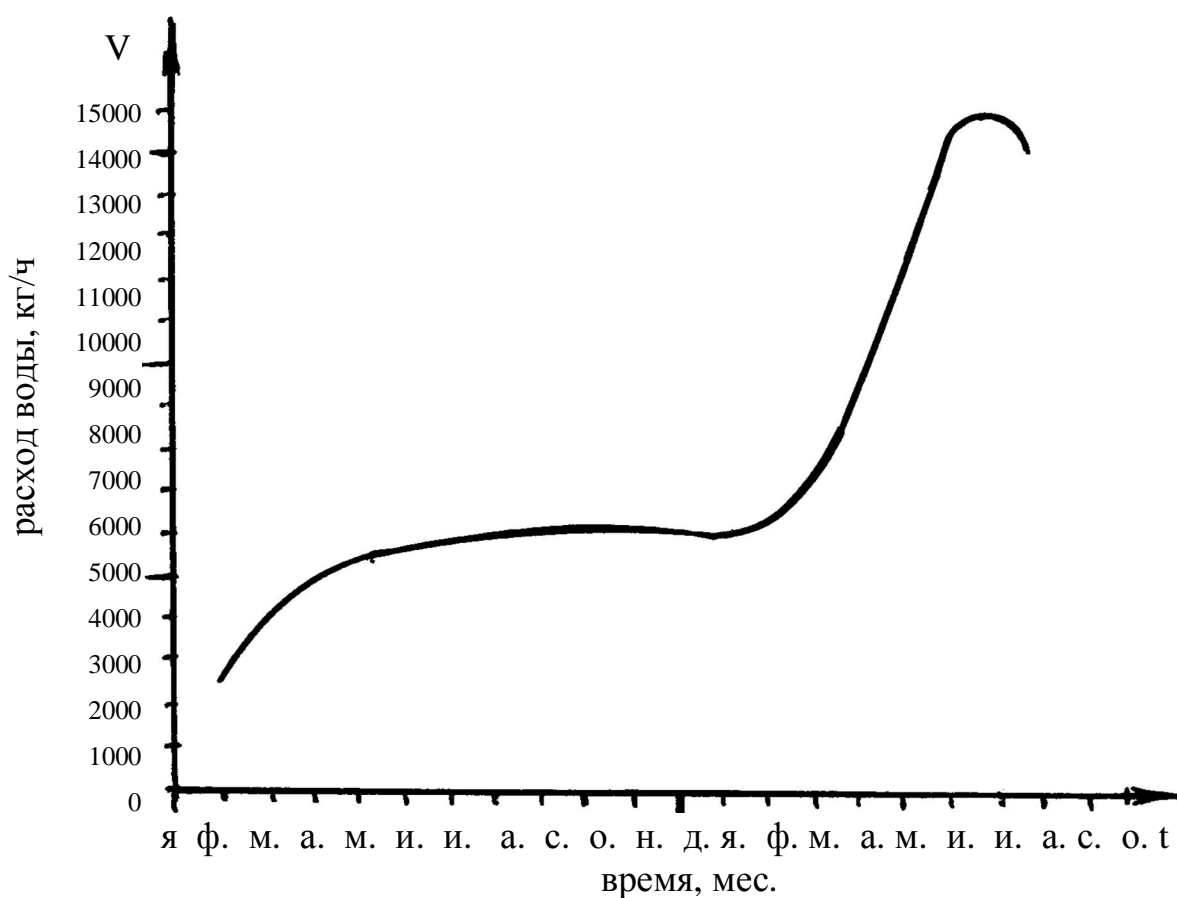


Рисунок 1 – Изменение расхода воды, идущей на подпитку баков-сепараторов испарительной системы охлаждения

Это время составило для доменной печи объёмом  $3000 m^3$  5-6 часов. Из них 3-4 часа приходится на время оползания гарниссажа в горн и 2 часа на расплавление и начало воздействия на химический состав чугуна. Поэтому для

нахождения зависимости между содержанием кремния в чугуне и расходом воды на испарительное охлаждение печи при оползании гарниссажа отбирались значения кремния последнего выпуска смены, в которой был снят паросъём или первого выпуска следующей смены. Корреляционный анализ производился со смещением, т.к. влияние оползания гарниссажа на кремний сказывалось через 5-6 часов. Коэффициент корреляции между расходом воды, идущей на подпитку испарительной системы охлаждения и кремнием в чугуне составил минус 0,616.

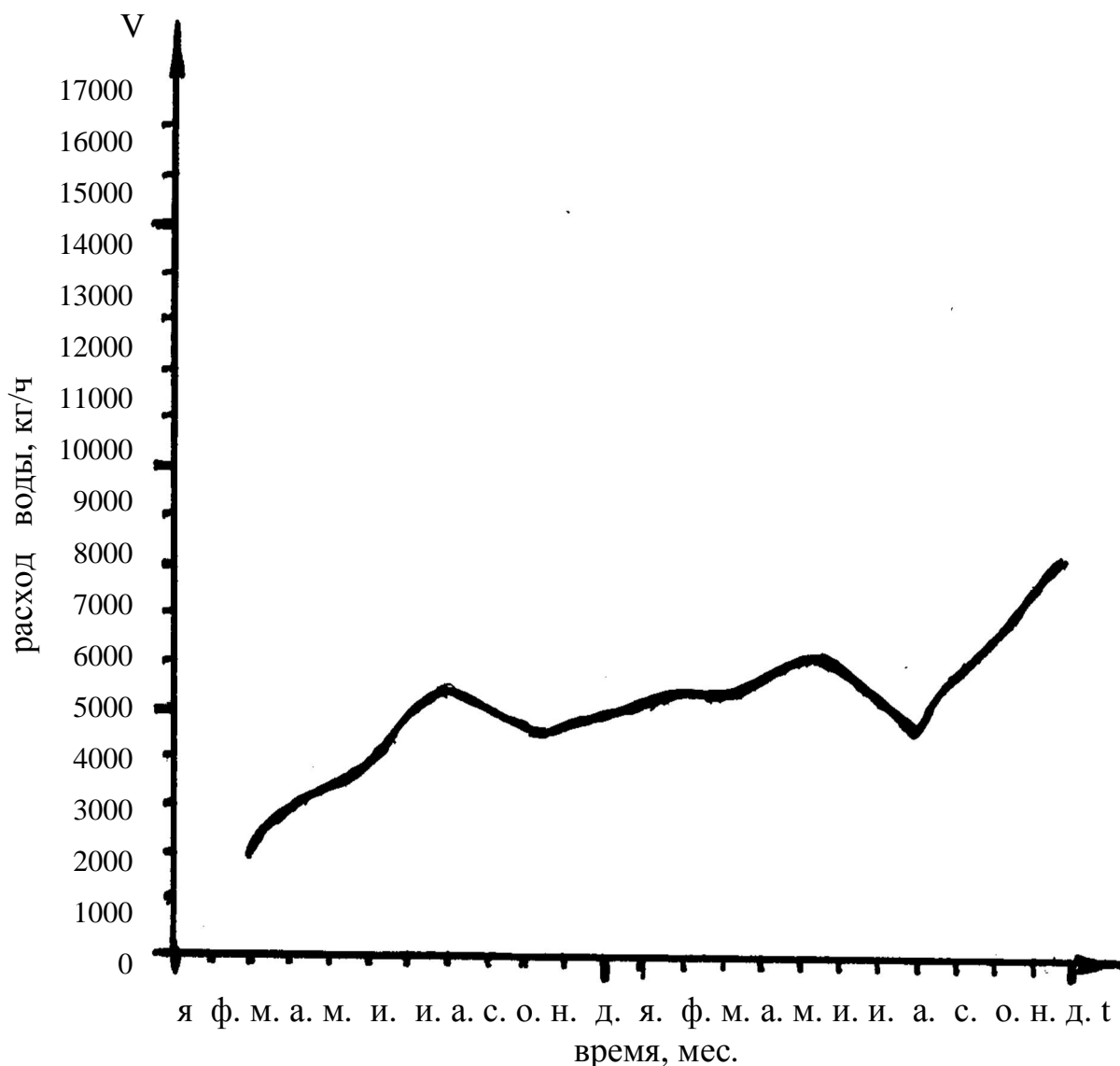


Рисунок 2 – Изменение расхода воды, идущей на подпитку баков-сепараторов испарительной системы охлаждения

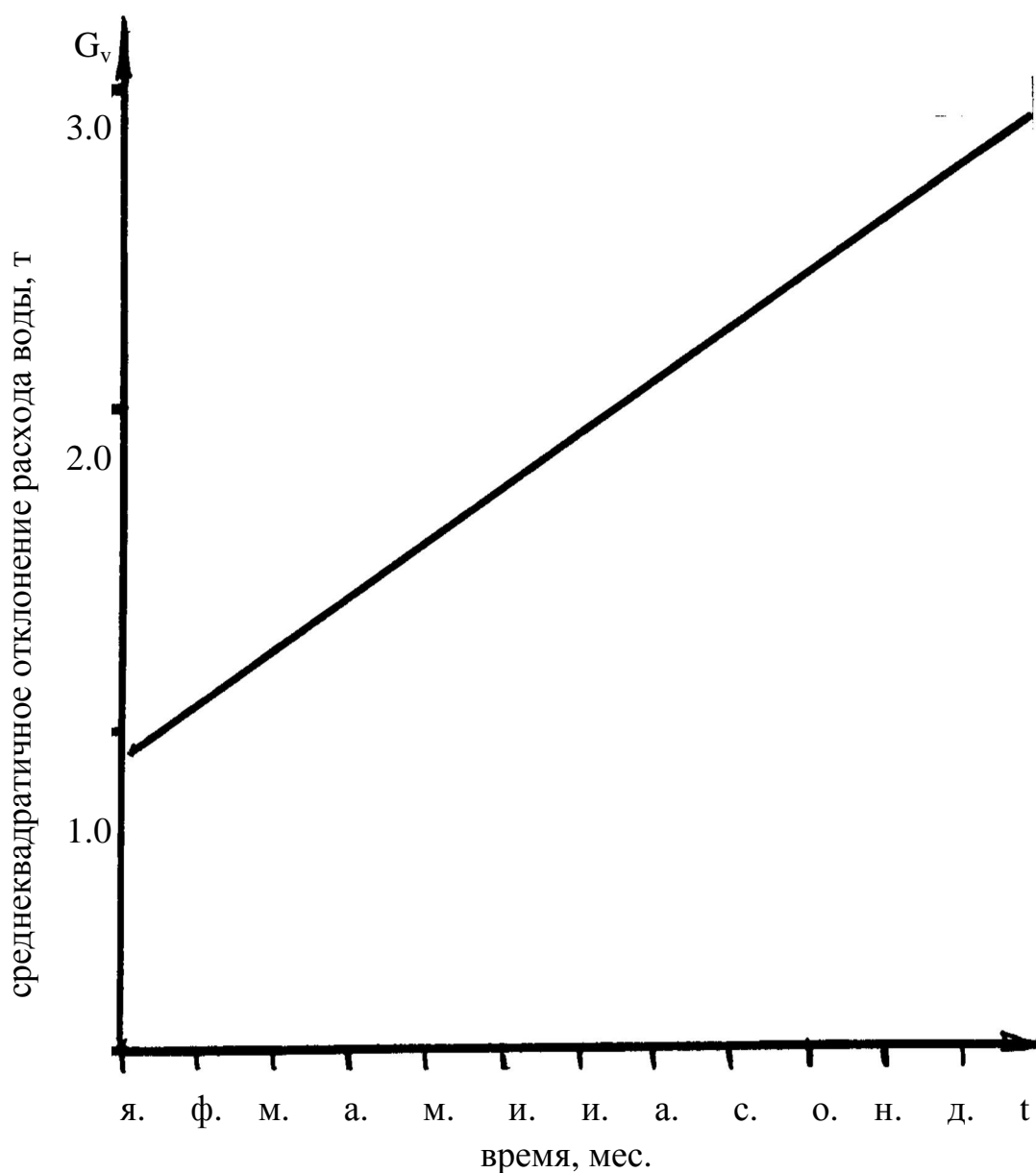


Рисунок 3 – Изменение среднеквадратичного отклонения расхода воды, идущей на подпитку баков-сепараторов

Для поля точек, изображённого на рисунке 4, которое представляет зависимость содержания кремния в чугуне от расхода охлаждающей воды, было получено следующее уравнение регрессии

$$y = 1,27 - 0,67 \times 10^{-4}x$$

где  $y$  – содержание кремния в чугуне, %;  $x$  – расход воды, идущей на подпитку испарительной системы охлаждения, кг/ч.

Между увеличением расхода воды, идущей на подпитку баков-сепараторов испарительной системы охлаждения шахты, распара и заплечиков печи, вследствие оползания гарниссажа, и изменением содержания кремния в чугуна через 5-6 часов после оползания существует очень тесная связь.

С оползанием гарниссажа и приходом его в горн происходит похолодание печи, в результате того, что гарниссаж не успевает прогреться и расплавиться.

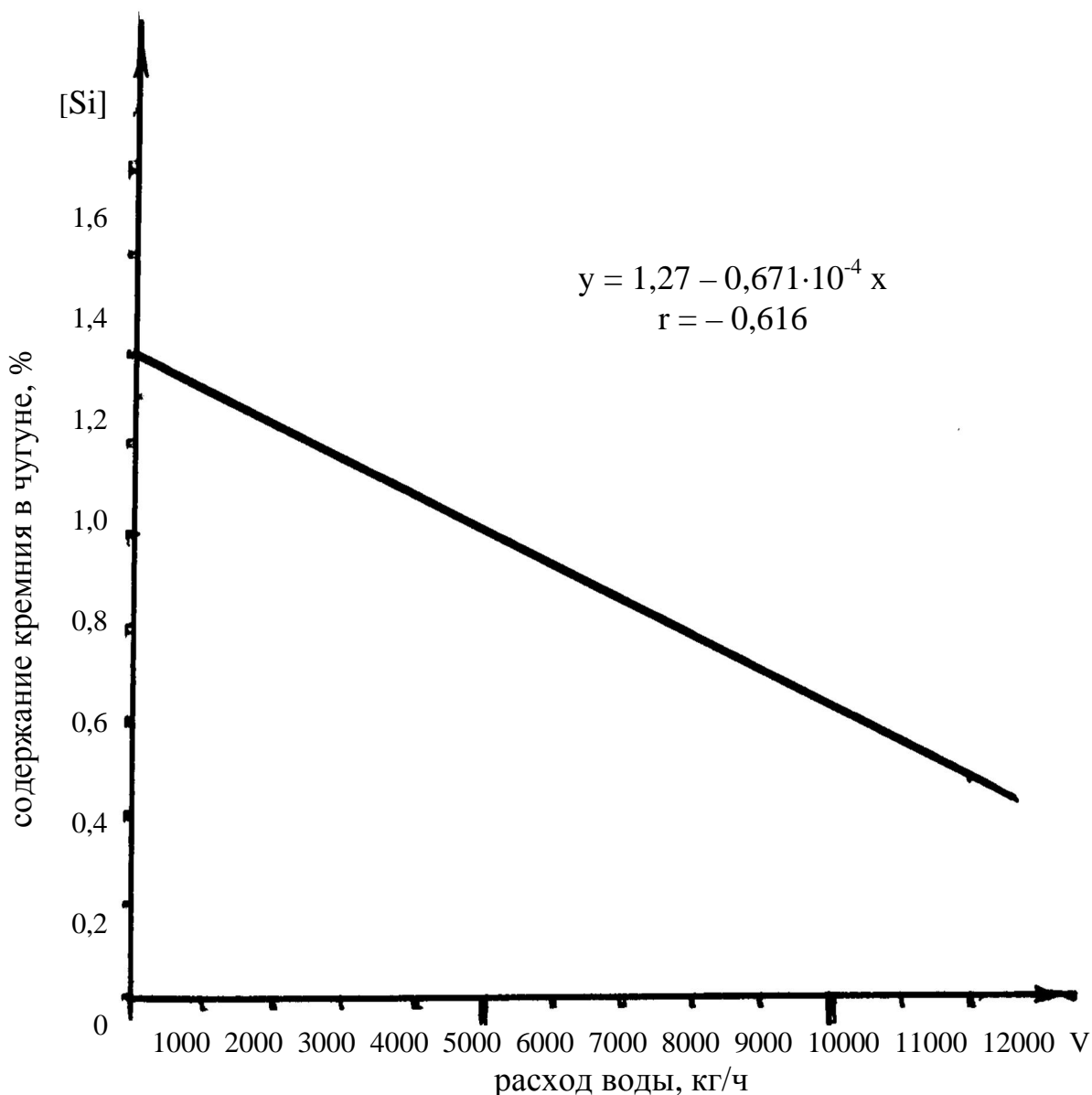


Рисунок 4 – Изменение содержания кремния в чугуна в зависимости от расхода воды, идущей на подпитку баков-сепараторов при оползаниях гарниссажа

При небольшом скачкообразном увеличении расхода воды, идущей на подпитку баков-сепараторов испарительной системы охлаждения соответственно оползает небольшое количество гарниссажа, который незначительно изменяет тепловой уровень печи.

По существующей технологии, при оползаниях гарниссажа регулирующие воздействия производят по величине изменения содержания кремния в чугуна, анализ которого выдаётся с опозданием на 1,0-1,5 ч., и поэтому похолодание печи обычно протекает в течение одной смены. Обычно для повышения динамики разогрева горна загружают большее количество кокса, чем это необходимо, и, как правило, разогревают печь выше установленного уровня; содержание кремния в чугуна повышается до 1,0-1,2%.

Существующая технология ведения доменной печи нерациональна, поскольку приводит к чрезмерному перерасходу кокса и, кроме того, имеет большое запаздывание при регулировании, которое приводит к ряду нежелательных последствий.

При резком похолодании печи ухудшаются дренажные условия в горне, выпуска идут в течение длительного времени. Горн загромождается густыми массами. В результате этого частота горения воздушных фурм увеличивается в 2-3 раза. Увеличиваются простои печи для смены горелых фурм.

Снижение уровня теплового состояния ухудшает движение газов и материалов, что способствует уменьшению интенсивности доменной плавки.

Оползания гарниссажа развивают окружающую неравномерность работы горна, на что красноречиво указывает колебание содержания кремния в чугуна, при выпуске его на различные лётки. Разность содержания кремния в чугуна может достигать 0,2-0,3%

Похолодание печи, уменьшение десульфуризирующей способности шлака влечёт за собой увеличение содержания серы в чугуна, которое приводит к получению брака.

Если не наблюдается скачкообразный рост расхода воды, идущей на подпитку баков-сепараторов испарительной системы охлаждения, а имеет место плавный характер изменений, то это может указывать на повышение нагрева печи или развитие периферийного хода газов. Коэффициент корреляции между содержанием кремния в чугуна и расходом воды, идущей на подпитку системы охлаждения составил 0,235.

Уравнение регрессии для этой зависимости (рис. 5) имеет вид

$$y = 1,167 + 0,189 \times 10^{-4}x,$$

где  $y$  – содержание кремния в чугуна, %;  $x$  – расход воды, идущей на подпитку испарительной системы охлаждения, кг/ч.

Связь между двумя рассматриваемыми переменными небольшая, поскольку расход воды зависит от двух составляющих разогрева печи и



характера движения газов в шахте. Однако эта зависимость позволяет увидеть, что при большом разогреве печи происходит одновременное увеличение кремния в чугуне и расхода воды, идущей на подпитку баков-сепараторов испарительной системы охлаждения.

В итоге можно констатировать, что оползание гарниссажа в горн приводит к ряду отклонений хода печи от нормального. Увеличивается теплоотдача через утончённые стенки шахты, распара и заплечиков, что влечёт за собой незначительное уменьшение теплового уровня печи. Вследствие прихода неподготовленного материала в горн, происходит резкое похолодание печи, ухудшаются дренажные условия, повышается частота горения воздушных фурм, увеличиваются простои печи, снижается интенсивность доменной плавки, ухудшается качество чугуна.

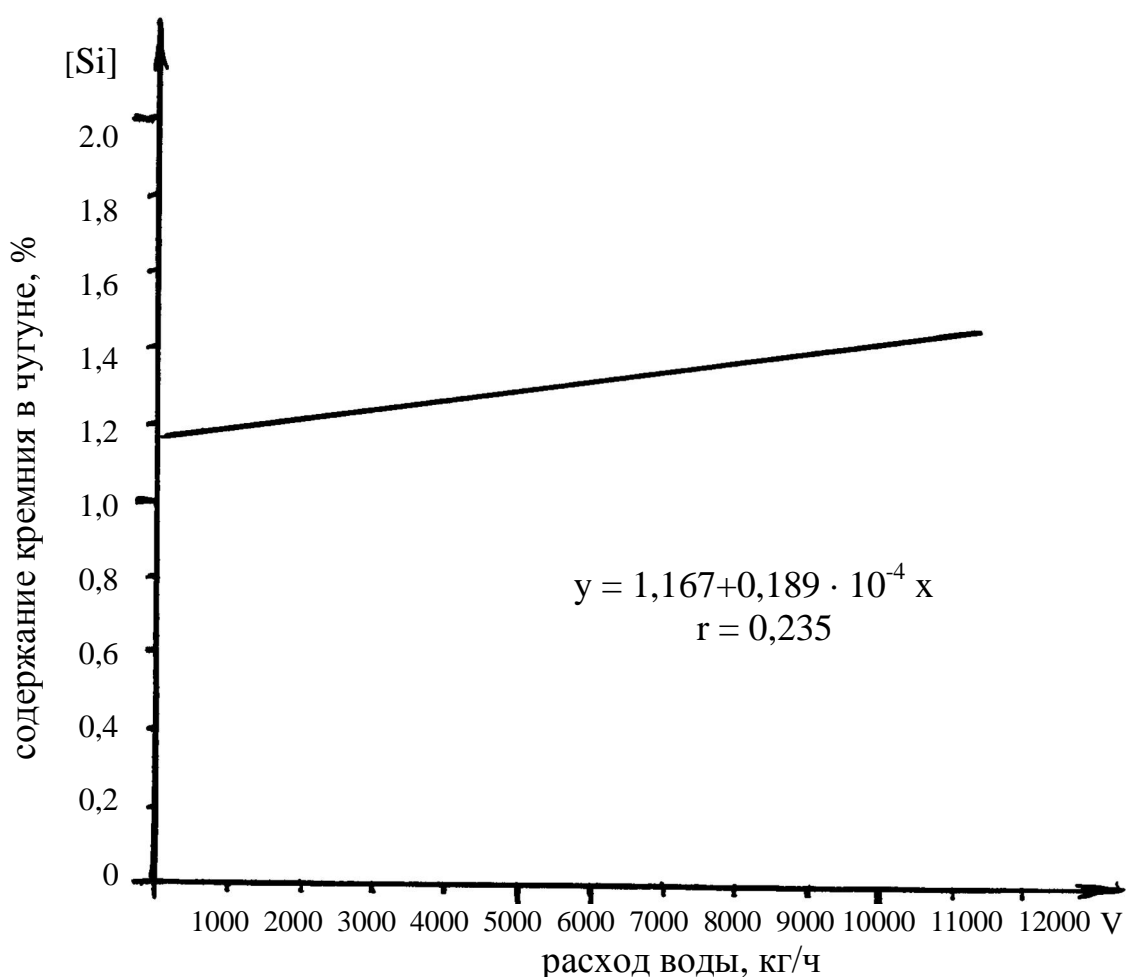


Рисунок 5 – Изменение содержания кремния в чугуне в зависимости от расхода воды, идущей на подпитку баков-сепараторов, при увеличении теплового состояния доменной печи

Нерациональный режим управления доменной печью при оползаниях гарниссажа имеет большое запаздывание регулирующего воздействия, приводящее к перерасходу кокса.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Изучена динамика разгара футеровки стен шахты, распара и заплечиков за период кампании печи. В течение пяти лет футеровка печи разрушается, заменяясь гарниссажем.

С каждым годом увеличивается слой гарниссажа, и обрывы его вызывают похолодание горна печи. Необходима разработка способа стабилизации температуры горна в период попадания в него непроплавленных масс.

*Приведены результаты практических исследований динамики разгара футеровки, образования гарниссажа на стенах доменной печи и оползания его в горн.*

*The result of practical investigations of dynamics for lining deterioration, formation and slipping of scull on the blast-furnace walls are given.*

#### **Библиографический список.**

1. Лана А.М., Котов А.И. и др. К вопросу о механизме загромождения горна доменных печей // *Металлургия и коксохимия.* – 1972, №29. – С. 57-62.
2. Борис И.И. О причинах массового горения фурм. // *Металлург.* – 1968, №12. – С. 15-17.
3. Новохатский А.М., Михайлюк Г.Д. Система контроля потерь тепла в нижней части шахты распара и заплечиков // *Сб. науч. тр. ДонГТУ.* – Алчевск. 2007. – Вып. 23. – С. 153-158.

*Рекомендовано к печати  
к. т. н., проф. Луценко В.А.*