Министерство образования Российской Федерации

Магнитогорский Государственный Технический Университет

им Г.И. Носова

Факультет Аи ВТ

Кафедра Промышленной Кибернетики и Систем Управления

**Курсовая работа**

**По дисциплине:** Технические измерения и приборы

**На тему:** Измерение уровня жидкого металла в

кристаллизаторе МНЛЗ

Выполнил студент группы АМ-00-1:

Серебренников Д.Г.

Проверил: Сергеев А.И.

Магнитогорск 2003

# Содержание

[Содержание 1](#_Toc35410331)

[Введение 2](#_Toc35410332)

[Способы измерения уровня жидкого металла в кристаллизаторе МНЛЗ 7](#_Toc35410333)

[ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ С ПОМОЩЬЮ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ 7](#_Toc35410334)

[Область применения 7](#_Toc35410335)

[Измерение уровня металла в кристаллизаторе посредством измерительного устройства, работающего на основе радиоактивности 10](#_Toc35410336)

[Датчики инфракрасного излучения для определения уровня металла в кристаллизаторе 14](#_Toc35410337)

[Метод контроля уровня металла в кристаллизаторе основанный на использовании вихревых токов, индуктируемых катушкой, размещенной над зеркалом жидкого металла в кристаллизаторе. 16](#_Toc35410338)

[Система уровень 23](#_Toc35410339)

[Список литературы 34](#_Toc35410340)

# Введение

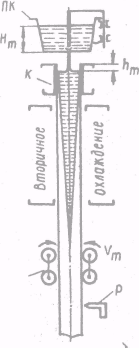
Стабилизация уровня металла в кристаллизаторе является важнейшей и наиболее сложной задачей автоматизации МНЛЗ.[1]

Рассмотрим параметры, оказывающие влияние на уровень ме­талла в кристаллизаторе.

На рис. 1 схематично показана часть технологической линии разливки металла от промежуточного ковша до тянущей клети. Жидкий металл, находящийся в промежуточном ковше, под дейст­вием силы тяжести вытекает через стакан в ков­ше и попадает в кристаллизатор, где начинаются кристаллизация и образование слитка.

Дальше металл с определенной скоростью вытягивается из кристаллизатора, проходит зону вторичного охлаждения и входит в ролики тяну­щей клети, которые обеспечивают его непрерыв­ное движение по технологической линии. Затвер­девший слиток после тянущей клети разрезается на заготовки заданной длины.

Основные особенности технологии разливки следующие.



**Рис.1. Технологическая схе­ма разливки ме­талла в крис­таллизатор: ПК — промежуточный ковш; К — кристал­лизатор; ТК - тянущая клеть; Р — резак.**

Технологический цикл имеет, как правило, по­стоянную длительность и большую часть време­ни процесс является стационарным. Только дваж­ды, в начале разливки и в конце, имеет место нестационарный режим.

Переход от нестационарного режима к стацио­нарному можно охарактеризовать следующей си­стемой равенств:

(1)

где HT и HЗ соответственно текущий и заданный уровень ме­талла в промежуточном ковше; VT и V3 — скорости тянущей клети; hT и h3 — уровни металла в кристаллизаторе. Считается, что на установке могут быть обеспечены заданные значения HЗ, V3 и h3.

Четвертое равенство, характеризующее состояние теплового ба­ланса, не показано, поскольку, оно непринципиально для рассмат­риваемого случая.

Для подавляющего большинства МНЛЗ величины HЗ и h3 от разливки к разливке изменяются незначительно. Скорость v3 колеблется в 10 раз и более. Сечения кристаллизаторов также могут изменяться в больших пределах от 100X100 мм до 250Х 1600 мм (от 0,01 м2 до 0,4 м2), т. е. в 40 раз.

Однако изменения скорости v3 разливки и сечений кристалли­заторов характерны для разных типов МНЛЗ, а не конкретных, Для конкретной МНЛЗ эти параметры почти неизменны или из­меняются в более узких пределах, например, скорость — в 2 раза, сечение — в 4 раза.

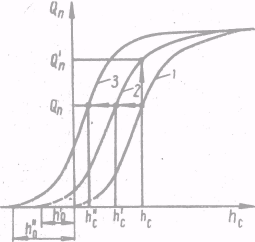
Можно также отметить тенденцию к сохранению постоянства производительности МНЛЗ, т. е. сохраняется произведение

П = Vc • SK м3/мин,

где 1>с — скорость движения слитка; SK — сечение кристаллизатора.

При одинаковых объемах разливаемой стали это означает, что время разливки, а следовательно, и расходные характеристики стопорных пар ковшей не изменяются.

Кратко рассмотрим особенности применяемых стопорных пар промежуточных ковшей. Как правило, стаканы имеют комбиниро­ванные внутренние стенки. Верхняя часть стакана выполняется по фор­ме коноидальной насадки, которая позволяет избежать образования внутреннего сжатия струи, значи­тельно уменьшает сопротивление стакана, а также увеличивает рас­ход.



**Рис. 2. Характеристика сто­порной пары:**

Qn , hС , h'c , h"c— координа­ты рабочей точки; Qn — значение расхода при разли­ве стопорной пары и фик­сированном положении стопора;

h 0, hQ — смещение ко­ординаты положения стопо­ра при его закрытии.

Форма стопора в большинстве случаев определяется требования­ми высокой стойкости при дроссели­ровании металла через стопорную пару.

Результирующая расходная ха­рактеристика является сложной кривой. На ней можно выделить три основных участка (рис. 2).

Первый (нижний) характерен для случая сравнительно высокого сопротивления стопорной пары. Струя жидкого металла неплотная, имеет малую кинетическую энергию и тенденцию к периодическим дви­жениям по стенкам стакана.

Второй (средний) характеризует резкое увеличение расхода через стопорную пару вследствие эффекта подсасывания стакана. Сопротивление стопорной пары остается сравнительно высоким, кинетическая энергия струи возрастает. Поэтому стопорная пара достаточно сильно подвержена разрушающему действию жидкого металла.

Третий (верхний) характеризует выход стопора из зоны интен­сивного дросселирования. Сопротивление жидкому металлу умень­шается. Струя почти полностью заполняет стакан, стопор не ока­зывает никакого сопротивления потоку металла, и расход опреде­ляется только сечением стакана и гидростатическим напором (кри­вая переходит в прямую линию).

Для определения расхода при полностью открытом стопоре можно воспользоваться известной из гидравлики формулой

Qm =μSc2gHT, (2)

Где Sc — сечение стакана;

g — ускорение свободного падения.

Величина уровня металла в промежуточном ковше HПК должна отсчитываться от центра тяжести столба металла в стакане.

Как показывает опытная проверка, для спокойных марок стали в нормальных условиях разливки μ=0,9

Общая протяженность расходной характеристики для стопор­ной пары при наибольшей устойчивости размыву небольшая, около 15 мм. Из них на наиболее крутую и линейную часть приходится а..-7 мм. Изменяя геометрию и форму стопорной пары, можно расширить линейную часть, однако в процессе разливки при недостаточной стойкости огнеупоров могут произойти необратимые изменения конфигурации стопора и стакана и соответственно существенные искажения всей формы расходной характеристики.

Поэтому часто оказывается целесообразным выбрать такую форму дросселирующей пары, при которой ее геометрические раз­меры в процессе разливки не изменяются. В этом случае вид кривой расходной характеристики также не изменяется, она только перемещается параллельно самой себе влево вдоль оси hC (кри­вые 1, 2, 3).

Все сказанное относится прежде всего к стопору, поскольку в основном он подвержен размыву струей металла. Положение усложняется, когда значительно размывается стакан.

Одним из важных моментов перехода к стационарному режиму разливки является правильный выбор положения рабочей точки на расходной характеристике. Кроме того, для обеспечения нор­мального режима дросселирования необходимо, чтобы это поло­жение сохранялось фиксированным от разливки « разливке.

Выполнение этих требований создает дополнительные труд­ности, а иногда, при частом изменении заказов на слитки, оказы­вается чрезвычайно сложным.

Действительно, для того чтобы рабочая точка при достижений стационарного режима находилась в заданном положении, необ­ходимо:

1)строго соблюдать допуски на изготовление стаканов и стопоров;

2)сохранять постоянной производительность МНЛЗ при изменениях размеров слитка, когда сечения стаканов остаются неизменными;

3)стабилизировать заданное значение уровня металла в промежуточном ковше;

4)обеспечить постоянство вязкости стали в определенных пределах.

Одним из вариантов технологического режима является раз­ливка через стакан без дросселирования, так называемая разливка

с дозатором. В этом случае стопор выводится из зоны дросселиро­вания и расход определяется в соответствии с формулой (2).

Такой режим применяется при получении слитков малых сече­ний и обеспечивает хорошую струю металла <из промежуточного ковша. Соответствующим выбором материала огнеупора достига­ется высокая стойкость стакана и отсутствие размыва. При такой разливке требования, перечисленные в пунктах 1, 3, ,4, остаются в силе. Невыполнение одного из них приводит к нарушению ре­жима разливки и может крайне неблагоприятно сказаться на ка­честве слитка.

Рассмотренные технологические особенности разливки стали имеют большое значение для проектирования систем автоматизации МНЛЗ, в частности, системы автоматического регулирована уровня металла в кристаллизаторе. Одним из важных технологических требований является стабилизация уровня металла в кристаллизаторе, качество которой необходимо оценивать в первую очередь по амплитудному критерию.

Кроме того, с целью повышения надежности оборудовании необходимо обеспечить медленные (низкочастотные) колебаний уровня, чтобы повысить надежность оборудования. Поэтому лучшей является система, которая позволяет получить минимальные по амплитуде и частоте изменения уровня.

Величина уровня металла в кристаллизаторе связана с поступ­лением жидкой стали из промежуточного ковша (QП) и выходом слитка из кристаллизатора (QK). Уровень металла в кристаллизаторе будет неизменным, если в единицу времени будет поступать и вы­ходить одинаковое количество стали, т. е.

QП — QK = 0. (3)

Самые незначительные отклонения этой разности от нуля при­ведут к неограниченному повышению или понижению уровня ме­талла.

Величины QП и QK не зависят от уровня металла в кристалли­заторе, поэтому рассматриваемый объект регулирования не обла­дает самовыравниванием. На низких частотах он описывается дифференциальным уравнением первого порядка. Решение уравнения показывает, что реакция на выходе (уровень металла в кристалли­заторе) представляет собой интеграл от входной функции (соот­ношения расходов металла QП и QK). Таким образом, объект яв­ляется интегрирующим и, следовательно, создает сдвиг по фазе между уходом и выходом .

Для выполнения (3) необходимо воздействовать на QП или QK, т. е. изменить положение стопора или скорость вытягивания слит­ка. В небольших пределах изменение может быть достигнуто за счет повышения или понижения уровня металла в промежуточном ковше.

Анализ возмущающих воздействий показывает, что в стационарном режиме разливки нет интенсивных возмущений.

Незначительные изменения QK вызываются возмущениями по нагрузке на тянущую клеть, при которых скорость вытягивания слитка может изменяться не более чем на 5%.

Изменения QK могут быть вызваны колебаниями уровня метал­ла в промежуточном ковше, а также размывом стопора. Оба воз­мущения являются низкочастотными, т. е. медленно изменяют зна­чение QK, при этом величина влияния на условия разливки пер­вого незначительна.

Таким образом, основной задачей является обеспечение высо­кой устойчивости в системе автоматического регулирования уров­ня путем применения соответствующих регуляторов.

С этой точки зрения системы автоматического регулирования со стопором или тянущей клетью имеют несколько разные возмож­ности.

Выше отмечалось, что при размыве стопора расходная харак­теристика смещается. Изменения расхода, связанные с этим сме­щением, могут быть весьма большими.

При использовании пропорционального регулятора из-за суще­ственной нелинейности расходной характеристики, а также инте­грирующих свойств объекта для получения достаточного запаса устойчивости приходится снижать коэффициент усиления. Это в свою очередь приводит к значительному увеличению статиче­ской ошибки.

Для уменьшения статической ошибки необходимо ввести кор­рекцию по интегралу. Однако при этом снижается запас устойчивости и в системе возникают колебания. Таким образом, значи­тельное смещение расходной характеристики — явление весьма нежелательное, однако избежать его в системе со стопором прак­тически невозможно.

В системе регулирования уровня металла стопором имеются и другие трудности. Это высокий коэффициент регулирующего органа (стопорной пары) и значительные его изменения при изме­нении положения рабочей точки на расходной характеристике. Первое, как известно, в системах регулирования нежелательно, так как требует высокой точности работы регулирующего прибора, исполнительного механизма и регулирующего органа. Кроме того; не допускаются запаздывание, гистерезис, зона нечувствитель­ности.

Практически это означает необходимость выполнения достаточ­но высоких требований для элементов системы, что, естественно, удорожает их изготовление и эксплуатацию. Если добавить к это­му, что исполнительный механизм и регулирующий орган (стопорный механизм) работают в условиях резкого перепада температур, то станут ясными технические трудности выполнения системы.

Не менее существенным в этих условиях является стабильность общего коэффициента усиления в системе, величина которого зависит от положения рабочей точки на расходной характеристике. Изменение ее положения может привести к резкому ухудшению процесса регулирования. Поэтому во время разливки недопустимо понижение уровня в промежуточном ковше ниже определенного значения, а также повышение скорости разливки выше рабочей для данного сечения слитка.

В системе с тянущей клетью можно получить более высокий запас устойчивости, что объясняется следующим: во-первых, харак­теристики в системе являются линейными в широком диапазоне величин сигналов, что позволяет увеличить коэффициент усиле­ния пропорциональной части регулятора; во-вторых, вследствие высокой стойкости стакана изменения расхода незначительны, и, следовательно, статическая ошибка ограничена. Введение ин­теграла в закон регулирования ухудшает запас устойчивости системы несущественно.

Рассмотрим еще один момент, важность и влияние которого одинаковы для систем регулирования со стопором и тянущей клетью, а именно, работу систем при изменении сечений разливае­мых слитков, т. е. при изменении поперечных размеров кристалли­заторов. Частота такой смены может быть различной (несколько раз в день, один раз в неделю, месяц, год).

Интерес представляет прежде всего частая смена сечений, так как это наиболее сложный и общий случай. Уже отмечалось, что для МНЛЗ одного типа площади сечения слитков могут изменяться, примерно в 4 раза. Дальнейшее расширение диапазона сечений - нецелесообразно по технологическим и конструктивным соображе­ниям, поэтому названную величину можно считать предельной,

Известно, что чувствительность объекта к возмущению обрат­но пропорциональна площади поперечного сечения резервуара, т. е. коэффициенту емкости. Чем больше площадь сечения, тем больше коэффициент емкости и тем меньше чувствительность объекта к возмущению. Это означает, что коэффициент усиления в системе автоматического регулирования также изменяется в 4 раза.

В связи с этим могут быть применены различные способы, ста­билизирующие работу систем, однако наиболее простым является улучшение фазовых характеристик систем регулирования и повы­шение общего коэффициента усиления без изменения запаса устойчивости.

Если такая настройка будет выполнена для самого высокого коэффициента усиления в системе, то снижение его в 4 раза только увеличит запас устойчивости. При этом качество регулирования останется достаточно высоким, так как одновременно с пониже­нием коэффициента усиления чувствительность уровня к возму­щениям уменьшается.

Хорошие результаты можно получить, используя другие вариан­ты компромиссной настройки, а также ступенчатое изменение коэффициента усиления при переходе от одного диапазона сечения к другому.

Применение системы автоматического регулирования уровня металла в кристаллизаторе при получении слитков малых сечений не встречает особых трудностей.

Увеличение коэффициента усиления в системе, связанное с уменьшением сечения кристаллизатора, может быть скомпенси­ровано. В системе со стопором частичная компенсация происходит в связи с уменьшением диаметра стакана, так как для малых се­чений производительность машин МНЛЗ все-таки снижается. Рас­ходная характеристика становится более пологой.

При стабилизации уровня с помощью тянущей клети снижение коэффициента усиления может быть достигнуто за счет регулирую­щего органа.

В обоих случаях выбор требуемого коэффициента усиления можно осуществить с помощью регулирующего прибора. Тем не менее хорошее качество регулирования уровня может быть достиг­нуто только за счет улучшения фазовых характеристик, поэтому целесообразно применение корректирующих цепей.

В статье рассмотрены в основном все особенности систем автоматического регулирования металла в кристаллизаторе, вытекающие из технологических режимов работы МНЛЗ, применяемых в настоящее время.

Выводы из вышеизложенного могут быть следующие.

1)В силу широкого диапазона технологических режимов работы МНЛЗ, а также конструктивных решений оборудования в настоящее время применяются системы автоматического регулирования с использованием стопора и тянущей клети. Это необходимо учитывать при проектировании систем.

2)Системы автоматического регулирования должны предусматривать особенности технологических режимов и конструкцию оборудования и обладать необходимой для этой цели универсальностью.

3)Анализ особенностей в системах регулирования со стопором и тянущей клетью показывает, что правильным и возможным для реализации универсальности является применение вариантных решений проектирования с использованием типовой аппаратуры.

# Способы измерения уровня жидкого металла в кристаллизаторе МНЛЗ

В последнее время разработаны новые методы непрерывной разливки стали, в соответствии с которыми разливаемый металл до образования наружной корки не подвергается воздействию ок­ружающей атмосферы. Предложены две технологи­ческие схемы разливки: под некоторым избыточ­ным давлением нейтрального газа и с вакуумированием металла непосредственно в потоке.[2]

При разливке под давлением в среде за­щитного газа исключается возможность интен­сивного окисления металла кислородом окружа­ющей атмосферы; при разливке под разрежением, кроме того, удается выделить и удалить из раз­ливаемого металла нежелательные газовые компо­ненты»

Однако осуществление предложенных схем в связи с необходимостью тщательной гермети­зации всего тракта разливки требует усложнения конструкции машин и полной автоматизации сис­темы управления, поскольку в этом случае ручное управление практически исключается.

В условиях избыточного давления нейтраль­ного газа между промежуточной емкостью и кри­сталлизатором важное значение приобретает стабилизация уровня жидкого металла в кристалли­заторе.

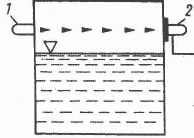
## ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ С ПОМОЩЬЮ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ

## Область применения

Измерение уровня при помощи радиоактивных изотопов целе­сообразно прежде всего там, где вследствие наличия специфиче­ских условий, а именно: высокого давления, разреженности, агрес­сивности среды — нельзя использовать обычные приборы.[2] Этот способ используют для измерения уровня заполнения резервуа­ров, силосных башен и бункеров, где нельзя установить измери­тельные щупы или необходимо применение дорогостоящей системы измерительных щупов, вызванное конструктивными особенно­стями. Но и в тех случаях, когда правила техники безопасности запрещают установку уровнемеров в резервуарах или когда уста­новка обычных приборов потребовала бы больших затрат, для измерений часто выгодно оказывается использовать радиоактивные изотопы. Особенно целесообразно применять радиоактив­ные изотопы для измерений уровня агрессивных материалов, веществ с повышенной адгезионной способностью, в резервуарах с очень высокими температурами, в резервуарах со встроенными мешалками, в бункерах с такими крупнокусковыми материалами, как уголь или руда, в шахтных печах, в литейном производстве и на металлургических заводах.

Физические основы

В основе измерения при помощи искусственных радиоактивных изотопов лежит принцип поглощения радиоактивного излучения соответствующим материалом, содержащимся в резервуаре. Пучок γ-лучей, излучаемый радиоактивным источником, проникает через резервуар по прямой линии (рис. 3). На стенке резервуара, лежащей против излучателя, расположен приемник, преобразую­щий принятые лучи в электрические импульсы. Вследствие по­глощения радиоактивных лучей материалом внутри резервуара интенсивность принятого излучения зависит от высоты уровня.



**Рис. 3. Схема радио­активного сигнализатора уровня:**

**1 - излучатель; 2 - при­емник**

Возникающие на выходе приемника им­пульсы, частота которых пропорциональна интенсивности излучения, подводятся к пе­реключающему устройству, реле которого срабатывает, как только число импульсов в единицу времени достигнет минимальной величины. Ввиду того что в большинстве случаев измеряют толстые слои материала, используют преимущественно γ -лучи. Большое влияние на процесс измерения оказывают стенки резервуара, обладающие иногда значительной толщиной. Исходную интенсивность прони­кающего через заполненный резервуар излучения рассчитывают следующим образом:



При пустом резервуаре она равна . Таким об­разом, отношение величин интенсивности



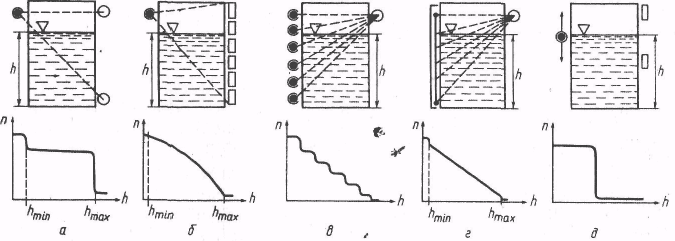
где dw, — толщина стенки резервуара; pi — плотность содержи­мого; di — внутренний диаметр резервуара; μ — массовый коэф­фициент поглощения; рw — плотность материала стенки.

Такое же выражение имело бы место и для теоретического случая, когда стенки отсутствуют, т. е. толщина и плотность стенки не оказывают влияния на ослабление. Однако необходимо учитывать, что при наличии металлических стенок большой тол­щины происходит рассеяние, оказывающее заметное влияние на направление и интенсивность излучения. В принципе для толстых стенок необходимо использование радиоактивного препарата более высокой энергии. Для того чтобы практически иметь дело по воз­можности со слабыми препаратами и, следовательно, с минималь­ной радиационной защитой, расстояние между излучателем и при­емником должно быть минимальным. В доменных печах, вагран­ках, шахтных известковообжигательных печах, например, этого можно достичь благодаря уменьшению толщины стенки в местах установки излучателя и приемника путем применения трубок, заделанных с переднего конца. Кроме того, можно приобрести также излучатели с двойной защитной оболочкой. Такая оболочка, состоящая обычно из высококачественной стали, предотвращает рассеяние радиоактивного материала и тем самым загрязнение окружающей среды радиоактивными веществами.

Ослабление мощности излучения радиоактивного излучателя вследствие поглощения воздухом происходит по квадратичному закону. Степень поглощения радиоактивного излучения твердыми и жидкими материалами зависит в первую очередь от их плот­ности.

Измерение уровня

При ступенчатом измерении уровня посредством радиоактивных изотопов можно использовать различные варианты размещения излучателей (рис.4). Существует возможность сигнализации предельного уровня или измерения ступенями с большей или меньшей дискретностью. В показанном на рис. 4, а варианте расположения использован один изотоп, испускающий два пучка лучей. Расположенные на пути прохождения лучей счетчики ра­диоактивного излучения соединены параллельно. Как видно из графика,



**Рис.4. Наиболее распространенные варианта расположения излучателей**

превышение пределов hmax и hmin вызывает резкое из­менение частоты повторения импульсов, которое можно исполь­зовать для включения реле. Почти непрерывная индикация уровня достигается путем размещения друг над другом нескольких из­лучателей, как показано на рис. 10, г. В этом случае представ­ляется возможным измерять уровень до высоты, равной утроен­ному диаметру резервуара.

На диаграмме показано, что индикация носит приблизительно непрерывный характер. Бесступенчатой графической характе­ристики можно достичь, если применить стержневидный пре­парат проф. Бергольда. Ввиду того что мощность препарата на концах стержня усилена, превышение минимального и максималь­ного уровня заполнения (рис. 10, г) выявляется особенно

четко. Целесообразно в этом случае применять реле. При помощи такого метода можно производить измерение высоты до 3 м. Вариант непрерывного измерения показан на рис. 10, б, Здесь счетчики радиоактивных излучений устанавливают верти­кально. Благодаря расположению в ряд параллельно включенных счетчиков диапазон измерения можно увеличить приблизительно до 1,2 м. Другим решением, также пригодным для измерения вы­соких уровней, является метод измерения со следящим управ­лением (рис. 10, д),

Выводы

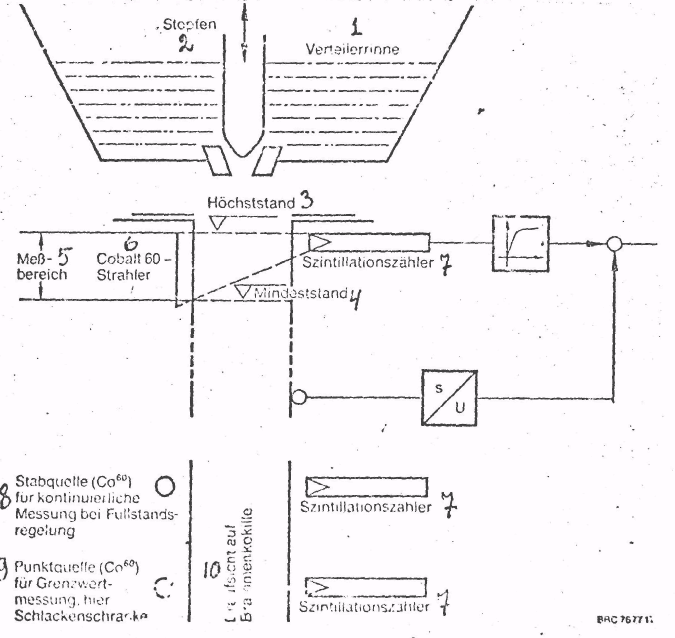
Измерение уровня при помощи радиоактивных изотопов обла­дает тем преимуществом, что этот метод является бесконтактным. Посредством этого метода можно измерять уровень заполнения резервуара даже в исключительно сложных условиях. Таким образом, обеспечивается высокая эксплуатационная надежность установки, ее износ и ремонтные работы невелики, что приводит к снижению расходов. Точность измерения около 2 %. При не­прерывных измерениях следует принимать во внимание период полураспада используемого радиоактивного изотопа.

При использовании аппаратуры для контроля уровня металла в квадратных кристаллизаторах источник и приемник излучения размещаются стационарно вне кристаллизатора. На мощных слябовых МНЛЗ источник и приемник размещаются непо­средственно в стенке кристаллизатора в специальных приливах. С помощью термо­стойкого кабеля приемник излучения через соединительную коробку соединен с из­мерительным прибором типа В 3118, который является интегрирующим накопителем импульсов с последующим преобразованием сигнала интегратора в унифицированный сигнал 0-10 В и 0-5 мА. Прибор рассчитан на работу с потоком импульсов 450-9000 имп/с, интегратор позволяет накапливать их с постоянной времени.

## Измерение уровня металла в крис­таллизаторе посредством измерительного устройства, работающего на основе радиоактивности

В большинстве случаев фактический уровень металла в крис­таллизаторе определяют посредством измерительного устройства, работающего на основе радиоактивности. Другие измерительные устрой­ства, например, термоэлементы, устанавливаемые в стенке кристал­лизатора, не нашли широкого применения из-за присущих им недостат­ков.[2]

Радиоактивное измерительное устройство состоит из стержневидного препарата кобальта 60, сцинтилляционного счетчика и специального усилителя. Источники радиоактивного излучения и счет­чики размещают на кристаллизаторе таким образом, чтобы через учас­ток, на котором в процессе разливки стали должен установиться ее уровень, могли проходить и улавливаться счетчиком радиоактивные изотопы, поступающие от источника их излучения (рис.5).



**Рис.5. Система непрерывного измерения уровня металла в крис­таллизаторе и принцип "шлакового барьера**":

1 - промежуточный ковш; 2 - стопор; 3 - наивысший уровень стали; 4 - минимальный уровень стали в кристаллизаторе; 5 - участок из­мерения; б - источник радиоактивного излучения - кобальт 60; 7 - сцинтилляционный счетчик; 8 - стержне видный источник радио­активного излучения (кобальт 60) для непрерывного измерения уров­ня металла в кристаллизаторе; 9 - точечный источник радиоактив­но излучения (кобальт 60) для измерения предельных величин (здесь "шлаковый барьер"); 10 - кристаллизатор для литья слябов; (вид сверху); S- подъем кристаллизатора; U- напряжение

Толщина и плотность просвечиваемого материала определяют степень поглощения радиоактивного излучения и, следовательно, число изотопов, улавливаемых счетчиком. При повышении или пони­жении уровня стали на участке измерения его высоты в кристаллизаторе происходит большее или меньшее перекрытие радиоактивного из­лучения и вместе с тем изменение числа гамма-квантов, улавливае­мых счетчиком. Следовательно, количество попадающих на счетчик гамма-квантов служит мерой высоты уровня жидкой стали в кристал­лизаторе.

Гамма-кванты, достигающие счетчика, вызывают световые вспышки во вмонтированном кристалле йодистого натрия, частота которых пропорциональна интенсивности проходящего радиоактивного излучения. Вместе с кристаллом находится оптически подрегулированный фотоэлектронный умножитель, в светочувствительной части которого световые вспышки вызывают образование вторичных элект­ронов. Затем в результате работы специальных умножителей, усилителей и преобразователей полного сопротивления получаются соот­ветствующие импульса.

Эти импульсы, стандартизованные, прообразованные и усилен­ные в счетчике, по специальному кабелю передаются в главней уси­литель, которой преобразует их в постоянное напряжение или силу тока, пропорциональные высоте уровня металла в кристаллизаторе.

Так как каждый радиоактивный процесс подвержен статическим колебаниям, полученную таким образом измеренную величину нельзя использовать без дальнейшей, обработки. Эту обработку выполняют специальные фильтры.

При проектировании таких измерительных устройств необходи­мо учитывать два противоположных требования.

Мощность источника излучения при порожнем кристаллизаторе должна обеспечивать около 4000-6000 импульсов в секунду, так как при этом наблюдаются меньшие статические колебания.

Мощность источника излучения должна быть такой малой, чтобы по возможности не создавалась или создавалась весьма небольшая контролируемая зона; при этом прежде всего учитывают опасность для здоровья обслуживающего персонала.

Оба эти требования учитываются при компромиссном решении, заключающемся в выборе мощностей источников радиоактивного излучения, обеспечивающих около 3000 импульсов в секунду для машин непрерывного литья заготовок квадратного сечения и около 1500 им­пульсов в секунду для слябовых МНЛЗ.

Измерительное устройство, должно достигать этих мощностей излучения после половины продолжительности периода полураспада кобальта 60 при порожнем кристаллизаторе (период полураспада кобальта 60 составляет 5,3 года). Далее необходимо следить за тем, чтобы источник радиоактивного излучения был размещен на кристалли­заторе или внутри него так, чтобы при установленной в процессе эксплуатации заданной высоте уровня металла в кристаллизаторе еще проходило бы около 60% импульсов, чтобы получалась достаточно большая пороговая доза на обеих сторонах. Небольшие нарушения пропорциональности в ходе кривой замеряемой на участке измерения величины могут быть линеаризованы с помощью корректора. Если источник и приемник радиоактивного излучения закрепить на кристаллизаторе или внутри него таким образом, чтобы это измерительное устройство совершало колебательное движение вместе с кристаллизатором, то качание кристаллизатора модулирует фактичес­кое значение высоты уровня жидкого металла. Эта модуляция, рас­сматриваемая как нежелательная помеха, компенсируется с помощью соответствующего устройства. Необходимость компенсации отпадает в том случае, если высота или частота подъемов кристаллизатора во время измерения соответствуют требуемой точности регулирова­ния уровня металла, в нем.

Для повышения безопасности или для распознавания "конца процесса разливки стали" в кристаллизаторах дополнительно пре­дусматривается так называемый "шлаковый барьер". Он состоит из точечного источника радиоактивного излучения и дополнительного сцинтилляционного счетчика. Это измерительное устройство опреде­ляет уровни воздуха, шлака и стали на основе их различной плотности.

Это измерительное устройство сигнализирует о данных уров­нях, и эти сигналы используются для управления машиной непрерыв­ного литья заготовок.

Данные о фактическом уровне металла в кристаллизаторе, получаемые от радиоактивного измерительного устройства, через корректор характеристик поступают в компенсационный усилитель. На втором входе компенсационного усилителя имеется напряжение, модулируемое движением подъема кристаллизатора. Подключенный активный фильтр продолжает обработку компенсированного, но, все-таки еще измененного статистическим колебанием фактического значения уровня металла в кристаллизаторе. После этого сигнал, фактического значения достигает смесительного входа регулятора уровня без выдержки времени и определяет разность между фактическим и заданным уровнями металла в кристаллизаторе.

Сигнал для регулирования скорости вытягивания заготовки снимается на выходе регулятора уровня и через регулируемые ограничительные устройства подводится к регулятору скорости вращения органов, регулирующих скорость вытягивания заготовки. Сигнал отклонения регулируемой величины h (то есть регулируемого уровня металла в кристаллизаторе - прим. переводчика) поступает в согласующий усилитель. Этот нелинейный усилитель, находящийся в замкнутом контуре регулирования стопора, работает как функциональное моделирующее устройство. Коэффициент пропорционального усиления этого согласующего усилителя, при отклонениях, регулируемой величины менее +-15% составляет 0,2, а при отклонениях регулируемой величины более +15% составляет I. Этим достигается то, что замкнутый контур регулирования стопора в интервале нормальных откло­нений остается стабильным, однако большие отклонения при доста­точно большом усилении могут быть быстро отрегулированы. Сигнал отклонения регулируемой величины, имеющийся в распоряжении на выходе согласующего усилителя, поступает в пропорционально-интегральной регулятор с раздельными интегральным и пропорциональным каналами. Интегральный канал построен как двухдекадный счетчик, задача которого заключается в регулировании отклонения уровня металла в кристаллизаторе до нуля. Интегральный канал состоит из устройства, моделирующего величину (Betragsbildner) преобразователя напряжения в частоту, двухдекадного счетчика прямого и обратного счета и подключенного цифро-аналогового преобразователя.

При начале, процесса литья параллельный пропорциональный канал отключается. При заполнении кристаллизатора сталью оператор вручную устанавливает рабочую точку регулятора. Во избежание скачкообразного перехода при переключении на "автоматику" система регулирования устанавливается на фактическое значение в выключен­ном состоянии. Как только ypoвень металла в кристаллизаторе дости­гает участка измерения, пропорциональней регулятор, включаемой устройством, регистрирующим предельные значения, берет на себя регулирование уровня металла в кристаллизаторе. При этом предполагается, что в момент процесса переключения на автоматическое регулирование стопор находится в положении эффективного регулирования.

Исходная величина интегрального канала впоследствии суммируется с исходной величиной пропорционального канала, и обе величины поступают в конечной усилитель и вместе с тем на cepвoпривод для установки стопора.

Рассмотренная выше система обеспечивает небольшие пропорциональные усиления при одновременно больших продолжительностях переналадок.

Эту систему регулирования в соответствии с требованиями дополняют логические соединительное и управляющие устройства, чтобы отдавать команды и обеспечивать соответствующие переключения внеш­них устройств.

Кроме того, дополнительно могут выдаваться отличительные сигналы или вводиться корректирующие сигналы. Форма и вид этих сигналов должны соответствовать требованиям машины непрерывного литья заготовок и данной системе регулирования

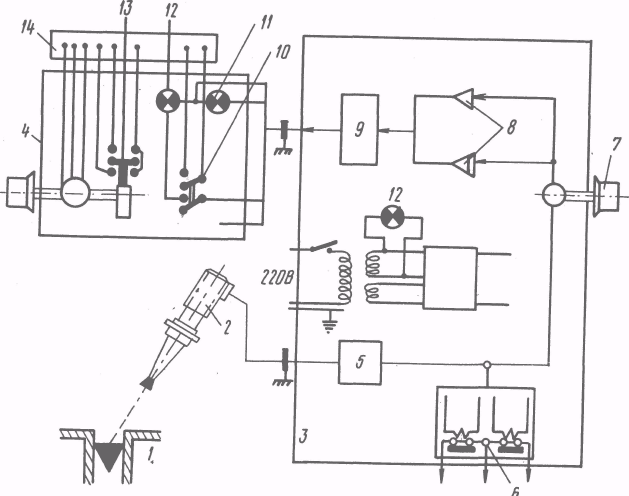
В условиях повышения требований к качеству непрерывного слитка особое значение приобретает измерение и поддержание уровня жидкого металла в кристал­лизаторе МНЛЗ. Попытки использовать здесь самые разнообразные метода измерений привели к преимущественному распространению метода с применением радиоактивных источников, излучение которых используется для просвечивания кристаллизатора с жидким металлом. За рубежом аппаратура такого типа разработана и широко тиражируется фирмами "Bertgold" ("Бертгольд"), ФРГ, "Brown Boverl" ("Браун Бовери"), Швейцария, и используются при изготовлении оборудования ШЛЗ машинострои­тельными фирмами "Demag" ("Демаг"), ФРГ "Mannesmarm" ("Маннесман"), ФРГ и ДР.

В системе измерения уровня металла в кристаллизаторе фирмы "Бертгольд" в качестве источника радиоактивного излучения мощностью 10 МэВ используется изо­топ Со-60. Источник выполняется в виде проволочной спирали» покрытой для защиты от химически агрессивных сред благородным металлом. Для компенсации нелинейности измерения уровня жидкого металла, обусловленной изменениями толщин про­свечивания по мере подъема уровня, изменяют шаг намотки спирали, мощность ис­точника рассчитывается и выбирается в каждом конкретном случае в зависимости от геометрических размеров кристаллизатора и расстояния между источником и приемником излучения. Источник размещается в свинцовом контейнере и поток из­лучения коллимируется поворотным коллиматором. В качестве приемника излучения в системе используется сцинтилляционный детектор на базе кристалла NaY, разме­щаемый в защитном стальном водоохлаждаемом кожухе.

При использовании аппаратуры для контроля уровня металла в квадратных кристаллизаторах источник и приемник излучения размещаются стационарно вне кристаллизатора. На мощных слябовых МНЛЗ источник и приемник размещаются непо­средственно в стенке кристаллизатора в специальных приливах. С помощью термо­стойкого кабеля приемник излучения через соединительную коробку соединен с из­мерительным прибором типа В 3118, который является интегрирующим накопителем импульсов с последующим преобразованием сигнала интегратора в унифицированный сигнал 0-10 В и 0-5 мА. Прибор рассчитан на работу с потоком импульсов 450-9000 имп/с, интегратор позволяет накапливать их с постоянной времени 0,5; I и 2 с.

### Датчики инфракрасного излучения для определения уровня металла в кристаллизаторе

Наряду с использованием радиоизотопных измерителей уровня за рубежом ведутся интенсивные поиски новых средств контроля уровня металла в кристаллиза­торе, более простых с точки зрения размещения их в составе оборудования и бо­лее надежных в эксплуатации. [3] Так, фирмами «concast" ("Конкаст"), Швейцария и "Clesid" ("Клесид"), Франция, разработан датчик инфракрасного излучения для определения уровня металла в кристаллизаторе, которой располагается на разли­вочной площадке и механически не связан с кристаллизатором. Предложенный измеритель уровня по данным фирм-разработчиков, отличается простотой и надеж­ностью, работает независимо от состояния поверхности ванны жидкого металла в кристаллизаторе (наличие шлаковых смесей, выбросы пламени и т.д.). Структурная схема инфракрасного измерителя уровня металла в кристаллизаторе приведена на рис.6.



**Рис.6. Схема измерителя уровня металла в кристаллизаторе, разработанного фирмой "Клесид", Франция**:

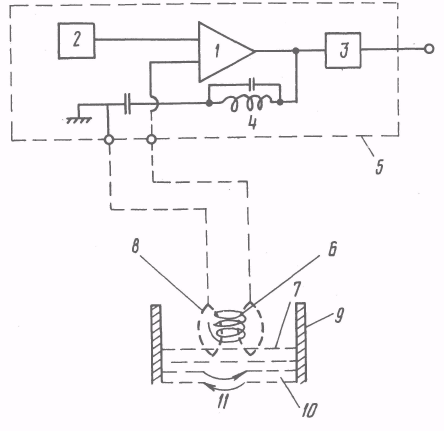
1 - кристаллизатор; 2 - датчик уровня; 3 - шкаф электронной аппаратуры; 4 коммутирующая панель; 5 - блок первичной обработки сигнала; 6 - сигнальное устройство;7-переключатель, используемый при изменении размеров кристаллизатора; 8 – ПИ (пропорционально-интегральный) регулятор; 9 - усилитель мощности; 10 - переключатель; II - контрольная лампа "Наличие питания"; 12-ин­дикаторная лампа работы в автоматическом режиме; 13 – кнопка установки нуля; 14 - соединительный клеммник.

Аналогичный измеритель разработан фирмой "CEDA" ("ЧЕДА"), Италия. Измеритель также работает на основе принципа инфракрасного излучения от ван­ны жидкого металла в кристаллизаторе, однако в отличие от ранее рассмотренно­го, не требует перенастройки при изменении размеров кристаллизатора. Это обу­славливается тем, что работа измерителя основывается на представляющим инте­рес принципе облучения покрытой шлаком ванны жидкого металла в кристаллизато­ре мощным монохроматическим излучением в области спектра, для которой слой шлака является достаточно прозрачным и на который посторонние источники света не влияют. Отраженный от поверхности чистого металла поток инфракрасного излу­чения детектируется оптоэлектронным датчиком. При этом изменение температуры металла, интенсивности его свечения, а также посторонние источники света и шлак не оказывают влияния на показания прибора. Система используется в настоя­щее время на ряде сортовых МНЛЗ заводов Италии, обеспечивая точность измере­ния уровня ±10 мм.

## Метод контроля уровня металла в кристаллизаторе основанный на использовании вихревых токов, индуктируемых ка­тушкой, размещенной над зеркалом жидкого металла в кристаллизаторе.

Интересный метод контроля уровня металла в кристаллизаторе предложен фирмой "Ниппон кокан", Япония. Метод основан на использовании вихревых токов, индуктируемых ка­тушкой, размещенной над зеркалом жидкого металла в кристаллизаторе.[3] Изме­рительная катушка полу­чает питание от высокоча­стотного генератора (50 кГц) через усилитель с положительной обратной связью. В зависимости от положения зеркала метал­ла полное сопротивление измерительной катушки, зависящее от ЭДС, наводи­мой в ней вихревыми тока­ми, также изменяется, что служит мерой положе­ния уровня жидкого метал­ла в кристаллизаторе. Из­мерительная катушка раз­мещена в защитном керами­ческом стакане, охлаждае­мым воздухом. Постоянная времени комплекта составляет менее 0,2 с, точностью измерения ±1 мм

На рис.7 приведена структурная схема устройства



**Рис.7. Схема измерителя уровня металла в кристалли­заторе, разработанного фирмой "Ниппон кокан", Япония:**

I - усилитель обратной связи; 2 - осциллятор; 3 - детектор; 4 - реактивная катушка; 5 - основной блок; .6 - измерителная катушка; 7 - зеркало ванны; 8 -магнитное поле; 9 - кристаллизатор; 10 - ванна жидкого металла; II - вихревые токи.

В СССР также ведутся работы по поиску новых методов контроля уровня жидкого металла в кристаллизаторе. Так, в Институте проблем управления разрабо­тан датчик уровня жидкого металла в кристаллизаторе, использующий энергию вы­сокочастотных частотно-модулированных колебаний.

Энергия высокочастотных колебаний подводится от генератора к резонансно­му контуру, образованному струей жидкого металла, которая охватывается кольце­вым проводником с подключенным к нему высокочастотной коаксиальной линией свя­зи от генератора, кристаллизатором и жидким металлом промежуточной емкости. Струя жидкого металла в этом случае играет роль короткозамкнутого отрезка, нижний конец которого образован электрическим замыканием струи металла и жид­кого металла в кристаллизаторе.

Кольцевой проводник датчика измерительного устройства, охватывая струю металла, поступающего в кристаллизатор, образует с ней электрическую емкость, через которую и осуществляется бесконтактный подвод высокочастотной энергии от генератора к отрезку контура.

При индуктивном характере входного комплексного сопротивления отрезка, образованного струей жидкого металла, емкость связи кольцевого проводника об­разует с эквивалентной индуктивностью этого отрезка последовательный колеба­тельный контур, подключённый в качестве нагрузки к линии связи с генератором возбуждения. Резонансная частота контура является функцией величины эквивалент­ной индуктивности и, следовательно, положения уровня металла в кристаллизаторе.

Теперешние требования к качеству стали обусловливают необходимость высокой точности па­раметров процесса непрерывного литья. Между тем, особенно при регулировании уровня жидкого металла в кристаллизаторе применявшиеся прежде традицион­ные способы при некоторых ситуациях процесса удов­летворительных результатов не давали. Описанная ниже модульная система регулирования уровня жидко­го металла реагирует на изменения процесса быстрее и обеспечивает постоянство поддержания уровня

**ДАТЧИКИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПОДДЕРЖАНИЯ УРОВНЯ МЕТАЛЛА В КРИСТАЛЛИЗАТОРАХ МНЛЗ**

Система автоматического поддержания уровня металла в кристаллизаторе (САПУМК) МНЛЗ является одной из основных при разливке стали, определяющей качество получае­мого слитка.[4]

Типовым составом САПУМК является датчик уровня металла (ДУМ), содержащий пер­вичный преобразователь, преобразующий перемещение уровня металла в электрический сигнал, и вторичный преобразователь, формирующий нормированный выходной сигнал, микропроцессорное устройство, задающее закон поддержания уровня и управляющие ис­полнительным устройством — приводом стопорного механизма или шиберного затвора.

По физическим принципам измерения датчики уровня металла САПУМК классифициру­ются:

"изотопные" ;

"электромагнитные" (токовихревые);

"тепловые" (с использованием встроенных в кристаллизатор датчиков температуры;

"оптические";

"ультразвуковые";

"радиометрические";

"электромеханические".

Промышленно применимыми в САПУМК являются (по степени распространенности): изотопные и электромагнитные. Остальные не нашли широкого применения, например "те­пловые", или являются "экзотическими".

Наибольшее распространение получили изотопные ДУМ, как наиболее компактные и поддающиеся встройке в конструкцию кристаллизатора. Изотопные ДУМ состоят из источ­ника -из-лучения (Со60, Cz137) и точечного приемника излучения, расположенного в стенках кристаллизатора. Изотопные ДУМ позволяют измерить уровень металла в кристаллизаторе до 180 мм от среза кристаллизатора при точности поддержания уровня по разным источни­кам: от ±5 мм до ±3 мм.

Недостатки изотопных ДУМ: радиационная опасность; относительно низкое соотношение сигнал - шум; нелинейность характеристики; чувствительность к шлакообразующей смеси.

Достоинства изотопных ДУМ: конструктивная и технологическая "отработанность" прием­ника, излучателя и узлов встройки в кристаллизатор; простота эксплуатации; простота ка­либровки, нечувствительность к электромагнитным полям (возможно совмещение с систе­мой перемешивания металла в кристаллизаторе).

Основными поставщиками изотопных ДУМ в страны СНГ являются ПО "Промавтоматика" (г. Киев) и фирма "Bertoldf, значительно укрепившая свои позиции поставщика, после рас­пада СССР. В настоящее время в связи настойчивым желанием ряда металлургических комбинатов снизить количество импортных поставок, появились разработки отечественных приемников и источников -излучения, конструктивно повторяющие уже применяемые. Предприятия атомной промышленности готовы поставлять источники и производить пере­зарядку использованных источников. По этому пути, пошли металлургические комбинаты: ОАО "ОЭМК" и ОАО "НТМК".

Разработка электромагнитных (токовихревых) ДУМ (ЭДУМ) была инициирована пробле­мой повышения безопасности, используемого в металлургии оборудования.

Успешными разработками можно считать ЭДУМ конструкции фирмы "Ниппон кокан" (Япония) и "Раутаруукки", устанавливаемых над зеркалом металла, а также конст­рукция фирмы IRM , встраиваемая в кристаллизатор.

Конструкция ЭДУМ фирмы "Ниппон кокан" представляет собой две группы обмоток (ка­тушек), расположенных на магнитопроводе и защищенных от нагрева со стороны разли­вочного стакана и жидкого металла керамическим кожухом. Дополнительной защитой от нагрева является поток воздуха, подводящийся извне от внешнего источника, и определен­ным образом циркулирующий вокруг обмоток (катушек) внутри керамического кожуха. Пер­вая группа обмоток, включенная между собой согласно, является обмотками возбуждения, к которым подводится питающие ЭДУМ переменное напряжение с частотой в диапазоне от 1,5 до 4 кГц. Вторая группа, являющаяся сигнальными обмотками, включена между собой встречно. Указанный диапазон частот питающего напряжения обеспечивает наименьшее влияние проводимости шлакообразующей смеси. Опытным путем было получено, что при более высоких частотах питающего напряжения, например, 20-50 кГц, ЭДУМ измеряет уровень расплавленного шлака, а не расплавленного металла.

ЭДС, наведенная на сигнальных обмотках, зависит от расстояния между ЭДУМ и зерка­лом расплавленного металла по существенно нелинейному закону.

ЭДУМ конструкции фирмы "Ниппон кокан" закреплен на специальном штативе, который перемещается разливщиками вручную и устанавливается при измерении уровня металла на край кристаллизатора. Отличительной особенностью данной конструкции является ее простота, что позволило ряду фирм, например, в Китае и в России, повторить эту конструк­цию в тех или иных вариантах.

Недостатки:

1. неудобство в работе из-за наличия кабелей связи и шланга, подводящего охлаждаю­щий воздух, которые в большинстве случае находятся непосредственно на разливочной  
   площадке и подвержены механическим и тепловым воздействиям, а также могут ограничивать действия разливщика;
2. неудобства в работе из-за появления дополнительных операций для разливщика: "опе­рации установки и снятия" ЭДУМ в начале и в конце разливки, а также в аварийных ситуациях (дополнительно затрачивается от 5 до 15 с на выполнение операций "снятие ЭДУМ" и  
   "уборка в безопасное место");
3. вариации величины коэффициента преобразования в функции "уровень — ЭДС" при  
   изменение места установки ЭДУМ в плоскости зеркала металла;
4. трудоемкость калибровки ЭДУМ (возможна только косвенная калибровка из-за разной  
   проводимости жидкой и закристаллизовавшейся стали);
5. необходимость подавления в сигнале ЭДУМ составляющей связанной с периодически­  
   ми колебаниями кристаллизатора относительно уровня металла (на частоте качания кри­сталлизатора).

Также существенным недостатком рассмотренной конструкции является значительный расход комплектующих (датчиков, кожухов, подставок, кабелей, шлангов), особенно при низкой технологической дисциплине персонала.

В конструкции ЭДУМ фирмы "Раутаруукки" первичный преобразователь установлен на специальном телескопическом кронштейне, выдвигающемся и убирающимся по команде разливщика. При этом достигается:

1. сохранность датчика и комплектующих;
2. установка датчика все время в одном и том же месте над плоскостью зеркала жидкого  
   металла;
3. отсутствие в полезном сигнале ЭДУМ составляющей, связанной с частотой качания  
   кристаллизатора.

Данные о влиянии шлакообразующей смеси на работу ЭДУМ отсутствуют. Однако эксплуатационные достоинства данной конструкции ЭДУМ снижаются необходи­мостью:

1. определения зоны безопасности для размещения телескопического кронштейна, что  
   затруднительно из-за ограниченности или отсутствия, в ряде случаев, места на разливочной площадке;
2. требованием наличия еще одной гидравлической системы для управления раздвижным  
   кронштейном.

Конструкция ЭДУМ фирмы IRM, встроенная в кристаллизатор, полностью лишена ука­занных недостатков и приближается по эксплуатационным характеристикам к изотопным датчикам. Данный ЭДУМ представляет собой группу обмоток, размещенных в специальном водоохлаждаемом кожухе, устанавливаемом на кристаллизатор, таким образом, что обмот­ки охватывают по периметру зеркало жидкого металла. Однако при достаточно больших размерах кристаллизатора конструкция ЭДУМ становится конструктивно громоздкой и не эффективной из-за необходимости подведения большой мощности питающего напряжения к обмоткам возбуждения. Оптимальными для применения данной конструкции ЭДУМ явля­ются кристаллизаторы с сечением не более 500x500 мм.

Особенностью всех конструкций ЭДУМ является необходимость правильного выбора со­отношения величины питающего напряжения и величины полезного сигнала, так как от этого зависит коэффициент усиления тракта преобразования сигнала первичного преобразо­вателя ЭДУМ. Величина полезной составляющей ЭДС сигнальных обмоток, зависит от уровня металла в кристаллизаторе и при удалении датчика от зеркала жидкого металла в диапазоне от 50 до 150 мм составляет не более 2-5 % от полного сигнала (зависит от гео­метрических размеров датчика, размеров кристаллизатора и др.). Например, коэффициент усиления в тракте преобразования "величина уровня металла - нормированный сигнал (4-20 мА, 0-5 В и т. д.)" для ЭДУМ, при габаритах первичного преобразователя: длина первичного преобразователя 200 мм, диаметр обмоток 30 мм, площади зеркала жидкого металла 200x200 мм, над которым установлен первичный преобразователь, и питающем на­пряжении 10-15 В, составляет несколько сотен единиц. При таких значениях величины ко­эффициента усиления во вторичном преобразователе необходимо принимать меры по по­давлению внутренних шумов усилителя, а также применять ряд полосовых фильтров, по­давляющих электромагнитные помехи (в первую очередь помехи от переменного напряже­ния частотой 50 Гц). Все это приводит к снижению полосы пропускания и увеличению по­стоянной времени тракта преобразования сигнала ЭДУМ. В оптимальных конструкциях ЭДУМ запаздывание в преобразовании сигнала первичного преобразователя составляет не более 1 с. Большой коэффициент усиления в тракте преобразования сигнала ЭДУМ также накладывает ограничения по электромагнитной совместимости с другими электромагнит­ными устройствами, применяемыми на разливочной площадке. Такими устройствами могут быть мобильные радиостанции, системы электромагнитного перемешивания стали и т. д.

Применение вблизи ЭДУМ источника электромагнитных волн может вызвать аварийные ситуации, например, несанкционированное открывание или закрывание дозирующего уст­ройства.

Для ЭДУМ характерна существенная нелинейность функции преобразования "уровень металла — ЭДС". Различная чувствительность датчиков, зависящая от расстояния до зер­кала жидкого металла, является их методической погрешностью ЭДУМ. Нелинейность ха­рактеристики ЭДУМ, как и других ДУМ, приводит к переменному петлевому коэффициенту в тракте системы автоматического регулирования — САПУМК, что приводит к различию в точности поддержания уровня металла в требуемом по технологии рабочем диапазоне. Добиться линеаризации характеристики ЭДУМ можно следующими способами:

калибровкой ЭДУМ во всем рабочем диапазоне и последующим использованием полу­ченной калибровочной характеристики;

схемотехническими решениями во вторичном электронном преобразователе, например, путем использования устройств с нелинейной характеристикой;

алгоритмически.

Способ прямой калибровки ЭДУМ прост в исполнении, но имеет ограничения по точности линеаризации, так как существует отличие проводимости жидкой и закристаллизовавшейся стали, а для ЭДУМ на штативе возможно изменение положения первичного преобразова­теля в плоскости зеркала жидкого металла и относительно стенок кристаллизатора. Дан­ный способ наиболее пригоден для конструкций датчиков фирмы "Раутаруукки" и "IRM", в которых первичные преобразователи устанавливаются в одно и то же положение относи­тельно кристаллизатора и других металлических конструкций.

Фирмой "Ниппон кокан" разработан ЭДУМ, в котором путем схемотехнических реше­ний во вторичном преобразователе удалось добиться квазилинейной характеристики пре­образования сигнала во всем рабочем диапазоне датчика (0-150 мм).

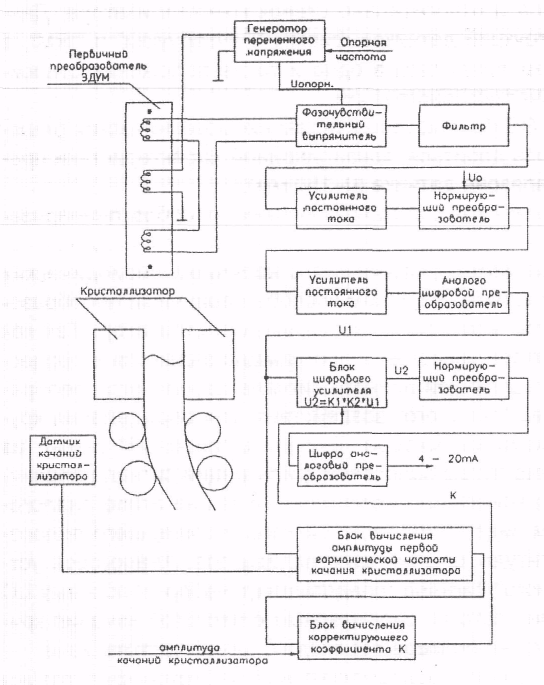
Примером одного из промышленно-применимых алгоритмических способов линеариза­ции характеристики преобразования ЭДУМ является способ, в котором используется со­ставляющая сигнала первичного преобразователя, связанная с наличием периодических колебаний кристаллизатора относительно слитка. В данном способе первичный преобразо­ватель устанавливается на кристаллизатор или встраивается в кристаллизатор. Так как амплитуда и частота качания кристаллизатора известны и программно задаются в процес­се разливки, то величина амплитуды составляющей полного сигнала первичного преобра­зователя может использоваться в качестве "пробного" воздействия для определения кру­тизны ЗДУМ в каждый период качаний кристаллизатора. Выделить "пробный" сигнал из сигнала первичного преобразователя можно путем полосовой фильтрации сигнала первич­ного преобразователя на частоте качания кристаллизатора, причем как на этапе аналого­вой обработки сигнала, так и в цифровом виде. Амплитуда сигнала, прошедшего полосо­вую фильтрацию, пропорциональна амплитуде качаний кристаллизатора. Аналоговое уст­ройство, реализующее выделение "пробного" сигнала, представляет набор полосовых LC или RC фильтров, настроенных на разные частоты, соразмерные с частотой качания кри­сталлизатора включаемые по команде извне по мере перехода с одной частоты кача­ния кристаллизатора на другую. Однако более предпочтительной является фильтрация сигнала в цифровом виде, так как методы цифровой фильтрации позволяют реализовать полосовые фильтры близкие к идеальным. На следующих стадиях алгоритма, после фильтрации, проводится измерение амплитуды "пробного" сигнала. Измеренная величина сопоставляется с известной (заданной или независимо измеренной) величиной амплитуды качаний кристаллизатора, на основании чего может быть вычислена крутизна в каждой точ­ке характеристики ЭДУМ, На основании вычисленных значений крутизны на следующих стадиях алгоритма корректируется коэффициент усиления для приведения характеристики ЭДУМ к линейному виду. Данный способ позволяет добиться линейности характеристики ЭДУМ во всем рабочем диапазоне с высокой степенью точности, ограниченной степенью гармоничности колебаний поверхности зеркала жидкого металла относительно кристалли­затора. При возникновении негармоничных колебаний, например, связанных с размывани­ем отверстий разливочного стакана появляется погрешность в определении величины ам­плитуды "пробного" сигнала, которая может достигать значительной величины. Для устра­нения данной погрешности амплитуду "пробного" сигнала следует вычислять на нескольких периодах колебаний, а в качестве калибровочного значения использовать величину, вы­численную как среднее значение измеренных амплитуд. Недостатками алгоритмического способа линеаризации характеристики ЭДУМ являются:

методическая ошибка, появляющаяся из-за вычисления значения коэффициента усиле­ния на основании предыдущих замеров амплитуды "пробного" сигнала;

повышенная величина постоянной времени тракта преобразования сигнала ЭДУМ, на­пример, по сравнению ЭДУМ, в котором линеаризация достигается путем использования калибровочной характеристики;

возможностью аварийных ситуаций при нерегулярности поведения зеркала жидкого ме­талла в кристаллизаторе.

На рисунке8, представлена блок-схема ЭДУМ, реализующего способ измерения уровня металла в кристаллизаторе с использованием алгоритмической линеаризации характери­стики ЭДУМ.



**Рис.8 Блок-схема ЭДУМ, реализующего способ измерения уровня металла в кристаллизаторе с использованием алгоритмической линеаризации характеристики ЭДУМ.**

Перспектива развития ДУМ:

миниатюризация; повышение удобства эксплуата­ции и надежности;

снижение эксплуатационных рас­ходов и стоимости комплектующих; повышение безопасности работы; повышение точности измерения. Для выполнения этих требований рассмотренные ДУМ должны со­вершенствоваться в следующих направлениях.

Изотопные ДУМ. Снижение мощ­ности источника радиационного из­лучения; повышение помехозащи­щенности приемного тракта; пере­ход на другие виды радиационного излучения, например, с использова­нием нейтронных генераторов или генераторов рентгеновского типа, управляемых и не имеющих после­действия (вторичного радиационно­го излучения).

Электромагнитные ДУМ. Уменьшение габаритов первичных преоб­разователей (наружный диаметр первичных преобразователей 10-20 мм — для датчиков устанавливаемых над зеркалом жидкого металла на край кристаллизатора); применение материалов и разработка конст­рукций, приводящих к снижению цены для приближения к цене традиционно расходных ма­териалов (футеровка, термопары разового действия, пробоотборника и др.); интеграция конструкция ЭДУМ в систему перемешивания металла в кристаллизаторе для устранения влияния перекрестных электромагнитных полей; разработка конструкций ЭДУМ, пригодных для закрепления на промковшах; уменьшение количества коммуникаций (электрический кабель, шланг системы охлаждения), подсоединяемых к ЭДУМ.

# Система уровень

В документе приняты следующие обозначения:

УФО - блок контроллера, устройство формирования и обработки сигналов  
ПР - пульт разливщика с монитором  
ПС - исполнительный механизм привода стопора  
ВИП - блок силовой электроники привода стопора  
ДУМ - датчик уровня металла  
ДПК - датчик положения кристаллизатора  
ВиА - стойка визуализации и архивации

НАЗНАЧЕНИЕ СИСТЕМЫ

Система УРОВЕНЬ предназначена для автоматического поддержания заданного уровня расплавленного металла, контроля и программного изменения уровня в кристаллизаторе МНЛЗ. Аппаратура системы предназначена для эксплуатации в условиях цеха металлургического предприятия. При этом часть блоков располагается в помещении автоматики МНЛЗ, остальные размещаются на разливочной площадке.[5]

Условия эксплуатации

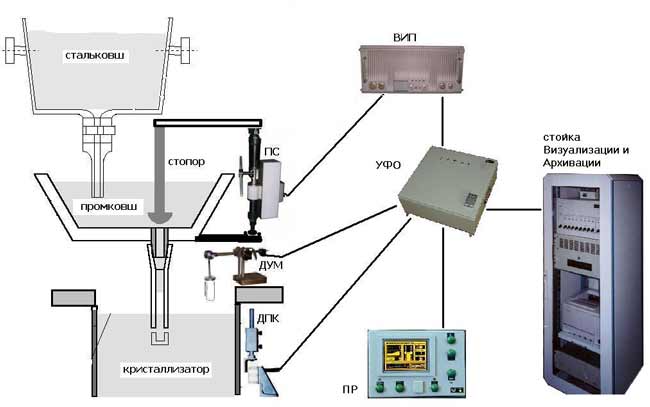
|  |  |
| --- | --- |
| Показатель | Значение |
| Температура воздуха на разливочной площадке | от -25 до +60 °С |
| Относительная влажность на разливочной площадке | до 98% при температуре 35°С |
| Атмосферное давление на разливочной площадке | 750 ±75 мм рт. ст. |
| Температура воздуха в помещении автоматики | от -5 до +40 °С |
| Относительная влажность в помещении автоматики | до 98% при температуре 25 °С |
| Атмосферное давление в помещении автоматики | 750 ±75 мм рт. ст |

Технические характиристики

|  |  |
| --- | --- |
| Показатель | Значение |
| Диапазон значений уровня металла в кристаллизаторе, удерживаемых системой (отмеренных от верхнего края медных стенок кристаллизатора) | от 20 до 150 мм |
| Погрешность поддержания установленного значения уровня металла (среднестатистическое интегральное значение) | ±1 |
| Динамическая погрешность поддержания уровня при ступенчатом изменении скорости вытягивания сляба на 10% (при скорости сляба 1 м/мин) | ±1,5 мм |
| Длительность переходного процесса, вызванного скачком скорости вытягивания сляба | не более 12 |
| Тип интерфейса для связи между контроллером и рабочей станцией | RS-485 |
| Время восстановления системы после аварии (только при типовой комплектации) | не более 30 мин |
| Максимальное усилие, развиваемое приводом | не менее 6000 Н |
| Предельная температура корпуса ПР и ПС от теплопередачи и излучения, °С | не более 60 |
| Сетевое напряжение питания с частотой 50 Гц, В | 198 - 242 |
| Максимальная мощность, потребляемая от сети, ВА | 700 |

УСТРОЙСТВО И РАБОТА СИСТЕМЫ

Система "Уровень" является следящей системой, поддерживающей заданный   уровень металла в кристаллизаторе   МНЛЗ. Блок-схема системы показана ниже.



Основными функциональными элементами системы, показанными на рисунке, являются:

датчик уровня жидкого металла в кристаллизаторе ДУМ,

электронный  блок  УФО , объединяющий   большую   часть   электронных элементов системы,

электропривод, включающий электромеханический привод ПС и блок силовой электроники ВИП - исполнительное устройство системы,

пульт разливщика ПР - основное устройство управления системой и отображения ее работы в процессе разливки,

датчик положения кристаллизатора ДПК, измеряющий частоту и амплитуду качания кристаллизатора,

стойка Визуализации и Архивирования (ВиА) служит для отображения, архивации и хранения основных параметров системы и режимах работы

Пульт разливщика ПР, привод ПС и датчик уровня металла ДУМ размещаются на разливочной площадке. Блоки УФО, ВИП, находятся в шкафу вблизи разливочной площадки. Остальные блоки расположены в помещении оператора МНЛЗ.

После начала разливки, выполняемого в режиме ручного управления, на кристаллизатор устанавливается датчик уровня металла ДУМ. После получения от системы сигнала о готовности к работе   в   автоматическом режиме,   разливщик   подает   команду на включение автоматического режима управления и при помощи муфты подключает исполнительный механизм - привод ПС к штоку стопорного механизма промежуточного ковша. При изменении условий разливки - температуры жидкого металла, изменении геометрических размеров сливного отверстия промковша, изменении скорости вытягивания сляба - изменяется уровень металла в кристаллизаторе.

Датчик уровня металла ДУМ преобразует уровень металла в кристаллизаторе в электрический сигнал. Сигнал передается в основной электронный блок системы - УФО. В этом блоке производится преобразование сигнала ДУМ в цифровую форму и вычисляется текущее значение уровня металла в кристаллизаторе. Результат вычисления сравнивается с установленным программой значением. В зависимости от величины и знака рассогласования вырабатывается цифровой сигнал управления приводом стопора. Сигнал управления подается в блок силовой электроники привода ВИП, где он преобразуется в аналоговую форму, усиливается по мощности и приводит в движение механизмы привода стопора ПС. Привод ПС перемещает стопор в новое положение, изменяя поступление жидкого металла в кристаллизатор, и тем самым, восстанавливая заданный уровень металла, измеряемый датчиком ДУМ.



**Датчик уровня металла ДУМ**

Датчик ДУМ служит для измерения уровня жидкого металла в кристаллизаторе машины непрерывного литья заготовок. Внешний вид датчика показан на рисунке. Датчик ДУМ состоит из штатива и закрепленного на нем чувствительного элемента. Штатив имеет основание, стойку с рисками и ручку для переноски. На стойку одета муфта, несущая трубчатый кронштейн, с фиксирующими штурвальчиками.

Правый штурвальчик (если смотреть со стороны штуцера) позволяет фиксировать положение муфты на вертикальной стойке штатива. Освобожденная муфта легко перемещается по стойке.  
Левый штурвальчик фиксирует угловое и линейное положение трубчатого кронштейна относительно муфты.

На трубчатом кронштейне с одной стороны закреплен через шарнир чувствительный элемент датчика, а с другой - электрический разъем и штуцер для подключения воздушного шланга.Шарнир дает возможность устанавливать чувствительный элемент под разными углами относительно продольной оси кронштейна.

Чувствительный элемент через крышку соединен трубкой с шарниром. По этой трубке воздух попадает внутрь его. Крышка имеет отверстия для выхода воздуха. Чувствительный элемент закрыт защитным кожухом. Кожух и чувствительный элемент крепятся к крышке. Кожух крепится с помощью трех губок, установленных на крышке, и хомута, затягиваемого винтом.

Для защиты от перегрева в датчик по шлангу подается воздух под давлением от 2 до 3 атм. К аппаратуре системы "Уровень" датчик подключается с помощью кабеля с электрическим разъемом. На трубчатый кронштейн, шарнир и крышку ДУМ надевается брызгозащитный чехол из стеклоткани. Чехол предназначен для предотвращения попадания брызг жидкого металла на элементы конструкции ДУМ.

Крепление чехла осуществляется тесёмками, завязываемыми на трубчатом кронштейне и на верхней части защитного кожуха чувствительного элемента. На трубчатом кронштейне чехол не должен быть затянут плотно для обеспечения выхода охлаждающего воздуха.

**ПУЛЬТ РАЗЛИВЩИКА**



Блок ПР является основным средством общения между пользователем - разливщиком и системой "Уровень". Блок предназначен для:

выдачи разливщиком команд управления системе,

отображения на дисплее текущей информации техпроцесса,

отображения на дисплее аварийных ситуаций техпроцесса и выдачи звукового сигнала.

На лицевой панели пульта расположены кнопки управления системой, световые индикаторы и дисплей. Внешний вид пульта разливщика показан на фотографии.

Кнопки "стрелка вверх" и "стрелка вниз" (правый верхний угол) служат для регулировки номинального значения уровня металла в кристаллизаторе, поддерживаемого системой в режиме СТАБИЛИЗАЦИЯ.

Кнопка "ПРИВОД" (левый нижний угол) служит для дистанционного включения и выключения блока силовой электроники ВИП и привода ПС.

Кнопка "РЕЖИМ" (справа от кнопки "РЕЖИМ") служит для перехода из режима ТЕСТИРОВАНИЯ в режим ОЖИДАНИЕ.

Кнопка "СИГНАЛ" (под кнопками "стрелка вверх" и "стрелка вниз") служит для подтверждения разливщиком действий, необходимых для включения системы.

Кнопка "СТАБ."(правый нижний угол) зарезервирована для дальнейшего расширения возможностей системы.

Электролюминесцентный дисплей служит для отображения текстовой и графической информации о работе системы.

Светодиодный индикатор "ПРИВОД" светится, если привод включен.

Светодиодный индикатор "СТАБИЛИЗАЦИЯ" светится, если система находится в режиме автоматической стабилизации уровня металла.

Светодиодный индикатор "ПР-2000" светится, если на пульт подается питающее напряжение.

**БЛОКИ ПС и ВИП**



Блоки ПС и ВИП предназначены для управления стопором в системе стабилизации уровня металла. Блок ВИП устанавливается между исполнительным механизмом системы ПС и блоком УФО.

Привод стопора ПС Привод ПС является исполнительным механизмом системы автоматической стабилизации уровня жидкого металла в кристаллизаторе машины непрерывного литья заготовок. Привод устанавливается на промковш. К аппаратуре системы привод подключается кабелем.

Привод имеет два органа управления: вращающуюся ручку на муфте и тумблер "СТАБИЛИЗАЦИЯ".   
Ручка на муфте позволяет управлять механическим соединением привода со стопорным механизмом. Затянув муфту с помощью ручки, Вы жестко связываете привод с механизмом стопора. Отпущенная муфта разрывает связь привода и стопора, дает возможность управлять положением стопора вручную.



Тумблер "СТАБИЛИЗАЦИЯ" включает режим автоматического управления уровнем металла. Над тумблером находится одноименный индикатор. Индикатор светится, если система находится в режиме автоматической стабилизации или при прохождении теста привода в режиме тестирования.

**Испытания системы стабилизации уровня металла в кристаллизаторе МНЛЗ №4 ККЦ-1 НЛМК с электромагнитным датчиком уровня металла, предоставленным фирмой ТЕХНОАП**

**Цель испытаний**

Цель испытаний - оценить точность поддержания уровня металла в существующей системе для датчиков, построенных на разных принципах действия и получить сравнительную оценку работы системы стабилизации. Первый датчик уровня - радиоизотопный, установлен на МНЛЗ в соответствии с проектом, второй датчик построен на электромагнитном принципе.[5]

**Основные отличия электромагнитного датчика**

* Электромагнитный датчик не чувствителен к толщине слоя шлакообразующей смеси, покрывающей поверхность расплавленного металла в кристаллизаторе МНЛЗ;
* Ширина полосы пропускания электромагнитного датчика существенно превышает аналогичный параметр радиоизотопного датчика;
* Уровень собственного шума радиоизотопного датчика относительно высок. Его стандартное отклонение составляет около 1,5 мм. Шум датчика хорошо виден при пустом кристаллизаторе перед началом разливки. Система стабилизации принципиально не может обеспечить ошибку стабилизации меньше уровня собственного шума датчика.

**Методика проведения испытаний**

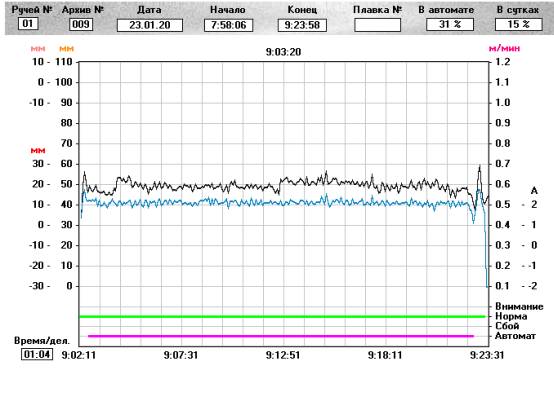
Основные метрологические характеристики электромагнитного датчика (коэффициент преобразования и уровень металла в кристаллизаторе, при котором он считается наполненным на 100%) были установлены равными соответствующим показателям изотопного датчика. Электромагнитный датчик был дооснащен аналоговым выходом в виде тока 4-20 мА. Через этот выход электромагнитный датчик подключался к системе стабилизации уровня металла вместо радиоизотопного датчика. В процессе разливки была предусмотрена возможность переключать датчики, использующиеся для управления уровнем металла в кристаллизаторе. Во всех режимах работы системы стабилизации уровня показания обоих датчиков регистрировались синхронно быстродействующей цифровой измерительной системой. Данные измерений в виде абсолютных значений уровня металла, отмеренных от верхнего среза медных плит кристаллизатора, выраженные в миллиметрах сохранялись в архиве.  
Статистическая обработка всех результатов измерений проводилась единообразно. Для обработки использовались электронные таблицы EXCEL, в которые импортировались данные из архивов, полученных в процессе разливки. Для выбранных фрагментов записей вычислялось стандартное отклонение.

**Результаты**

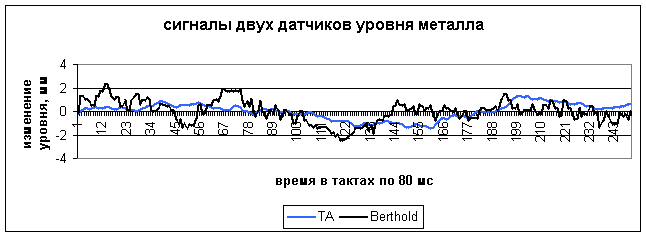
23 января 2003 испытания проводились при разливке перитектической стали. Система стабилизации уровня металла работала первоначально с радиоизотопным датчиком, а под конец разливки был подключен электромагнитный датчик уровня.  
Наилучший результат был достигнут при работе с электромагнитным датчиком. Для этого потребовалось уменьшить (в четыре раза по сравнению с радиоизотопным датчиком) постоянную времени фильтра нижних частот на выходе электромагнитного. Фрагмент архивной записи окончания разливки приведен ниже. Сигнал изотопного датчика отображается линией черного цвета, а сигнал электромагнитного датчика - серого.

Стандартное отклонение уровня металла в кристаллизаторе, измеренное электромагнитным датчиком уровня, на указанном временном интервале менее 1 мм. Аналогичный параметр сигнала радиоизотопного датчика на том же временном интервале немного превышает 2 мм.

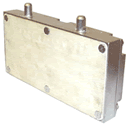
На представленном фрагменте хорошо видны моменты подачи шлакообразующей смеси в кристаллизатор. После подачи шлакообразующей смеси выходной сигнал изотопного датчика резко возрастает и далее медленно уменьшается по мере ее расхода.



На следующем рисунке приведен 20 секундный фрагмент реализации. Сигнал датчика Berthold показан черным цветом, датчика ТЕХНОАП (ТА) - серым. Управление уровнем в это время производилось от датчика ТЕХНОАП.



**Отчет о разработке и промышленных испытаниях  
датчика уровня металла "ДУМ бортовой"**



Датчик уровня металла ДУМ-бортовой (далее - датчик) предназначен для измерения уровня металла в кристаллизаторах МНЛЗ при работе в составе системы автоматического поддержания уровня металла типа "Уровень". Конструкция датчика предполагает его встройку в воротник кристаллизатора.[5]

**ЦЕЛЬ РАЗРАБОТКИ**

Целью разработки являлось улучшение эксплуатационных и потребительских свойств системы "Уровень" за счет создания встроенного датчика уровня металла, обладающего следующими преимуществами по сравнению со штативным датчиком (ДУМ-07):

* **Упрощение работы технологического персонала УНРС**  
  Нет необходимости устанавливать датчик и снимать его при замене погружного стакана.
* **Улучшение условий работы с кристаллизатором**  
  Зеркало металла полностью открыто для наблюдения и подсыпания шлакообразующей смеси
* **Повышение надежности кабельной и воздушной трассы датчика**   
  Электрический кабель и шланг с воздухом прокладывается под разливочной площадкой и не подвергается воздействию искр и брызг металла. Кроме то-го, кабели не мешают работе на разливочной площадке.
* **Увеличение информативности системы "Уровень"**  
  Появляется возможность получения информации о изменениях уровня металла во время замены разливочного стакана, при перековшовке, а также в других ситуациях, когда штативный датчик необходимо снимать с кристаллизатора.

**ЗАДАЧИ РАЗРАБОТКИ**

Основные задачи разработки состояли в следующем:

* разработка чувствительного элемента датчика, отвечающего требованиям диапазона и точности измерения уровня металла в кристаллизаторе.
* разработка корпуса датчика и деталей его крепления к корпусу кристаллизатора;
* разработка защитного экрана, защищающего датчик от сильного нагрева и брызг металла;
* разработка методики работы с датчиком; обеспечение возможности использования резервного штативного датчика (ДУМ-07) при аварийном выходе из строя встроенного датчика.

**МЕТОДОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ**

Разработка датчика состояла из следующих этапов:

* **Математическое моделирование и макетирование датчика.**На этом этапе проектировались основные параметры датчика, его обмоток и корпуса.
* **Изготовление и испытание макета датчика.**Испытания проводились на специальном стенде, имитирующем кристаллизатор, жидкий металл и механизм качания.
* **Изготовление и испытание промышленного образца датчика.**Проведение испытаний на стенде. Тепловые испытания.

**РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ**

**Устройство и работа датчика**

**Общие сведения**

Датчик содержит обмотки, размещенные в корпусе из нержавеющей стали. Передняя стенка изготовлена из термостойкого неэлектропроводного материала. На задней стенке размещен электрический разъем и штуцер для подключения шланга с воздухом (см. рис.1). На верхней грани датчика предусмотрены штыри для фиксации защитного экрана.

Датчик с помощью монтажного комплекта устанавливается на широкой стенке кристаллизатора, заменяя тем самым часть воротника кристаллизатора. Лицевая стенка датчика, таким образом, расположена в одной плоскости с медной стенкой кристаллизатора.



Защитный экран предназначен для защиты датчика от теплового излучения и брызг металла.

**Общие сведения**

|  |  |
| --- | --- |
| Диапазон измерения уровня металла (от среза кристаллизатора), мм | от 30 до 130 |
| Масса датчика с комплектом крепления и с защитным экраном, кг, не более | 5 |
| Давление в трассе воздушного охлаждения, атм | 2/3 |
| Габариты датчика | 200х120х60 |

**Подготовка к работе. Монтаж датчика на кристаллизаторе**

Для установки датчика необходимо предварительно произвести доработку деталей кристаллизатора, воротника и защитной плиты. Благодаря существующему разнообразию конструкции кристаллизаторов и их деталей, чертежи встройки датчика для каждого типа кристаллизатора должны разрабатываться отдельно и согласовываться с заказчиком.

Общие требования к установке датчика заключаются в следующем:

* место установки датчика на кристаллизаторе должно определяться из минимума вероятности повреждения датчика при аварийных ситуациях и максимального расстояния от разливочного стакана, а также удобства обслуживания мениска металла во время работы установки;
* датчик должен быть установлен на кристаллизаторе таким образом, чтобы его передняя стенка находилась в одной плоскости с медной стенкой кристаллизатора;
* крепление датчика к кристаллизатору должно быть надежно и обеспечивать неподвижность датчика относительно кристаллизатора при работающем механизме качания кристаллизатора;
* защитная плита кристаллизатора должна быть установлена таким образом, чтобы исключить ее вибрации относительно кристаллизатора;

Подготовка датчика к работе включает в себя следующее:

*1. Проверка технического состояния.*

Проверка технического состояния датчика производится перед установкой его на кристаллизатор и предполагает внешний осмотр и проверку параметров датчика. При внешнем осмотре необходимо убедиться в целостности корпуса датчика, в отсутствии видимых повреждений. Проверка параметров датчика предполагает замер сопротивлений обмоток датчика на его электрическом разъеме и сверка этих параметров с данными, указанными в Руководстве по эксплуатации.

*2. Монтаж ДУМ на кристаллизаторе.*

Установка датчика на кристаллизаторе может осуществляться как на участке подготовки кристаллизатора, так и на разливочной площадке во время переподготовки УНРС.



Датчик необходимо закрепить к кристаллизатору с помощью болтов или шпилек (см. рис.2). При этом необходимо установить датчик так, чтобы его лицевая стенка находилась в одной плоскости с медной стенкой кристаллизатора. Нижняя грань датчика должна плотно прилегать к торцу медной стенки кристаллизатора.

*3. Подключение электрического кабеля и шланга трассы воздушного охлаждения.*  
Электрический кабель и шланг воздушного охлаждения необходимо подключить до установки защитной плиты кристаллизатора. После подсоединения шланга включить подачу воздуха и убедится, что воздух выходит из отверстий на задней стенке датчика. При установленном воротнике кристаллизатора (см. рис.3) необходимо заложить пространство между датчиком и воротником шнуровым асбестом.



*4. Установка защитного экрана*

*.* После заведения в кристаллизатор затравки необходимо установить на датчик защитный экран (см. рис.4).

**Эксплуатация датчика ДУМ-бортовой**

При эксплуатации датчика в составе системы "Уровень" необходимо придерживаться следующих правил:

* Во время автоматической стабилизации уровня металла запрещено подносить металлические предметы к датчику ближе 30 см.
* При проведении технологических операций на кристаллизаторе, при замене раз-ливочного стакана стараться избегать попадания на датчик капель металла. При повреждении защитного экрана датчика (сильная деформация, налипание капель металла и др.) его следует заменить на новый.
* Избегать попадания воды в зону установки датчика.
* При повреждении датчика во время разливки необходимо подключить к системе "Уровень" резервный датчик на штативе (ДУМ-07). Во время переподготовки УНРС заменить встроенный датчик на новый из комплекта ЗИП.

**Ремонт и техническое обслуживание датчика ДУМ-бортовой**

При повреждении датчика во время аварии на УНРС его следует снять с кристал-лизатора, очистить налипших на него капель металла и шлака, проверить его параметры согласно Руководству по эксплуатации.

При отсутствии видимых повреждений корпуса датчика и полном соответствии всех параметров, указанных в Руководстве по эксплуатации, нормальным значениям датчик можно вновь использовать в работе. В противном случае его следует заменить на исправный.

Поврежденный датчик подлежит ремонту только специалистами ТЕХНОАП.

**Результаты промышленных испытаний**

Начиная с 1.03.02 г. по 31.03.02 г. проводились опытно-промышленные испытания датчика ДУМ-бортовой. Датчик работал в составе системы "Уровень НЛМК" в режимах "ВЫСТАВКА" (измерение) и "СТАБИЛИЗАЦИЯ" (автоматическое поддержание заданного уровня металла). В режиме "СТАБИЛИЗАЦИЯ" система работала с 3.03.02 г. по 31.03.02 (около 270 часов ~ 185 плавок).

На рисунках 5 и 6 представлены фрагменты архивов работы системы с бортовым датчиком. На рисунке 6 показан момент замены погружного разливочного стакана с уменьшением скорости разливки.



**Замечания**

В результате проведенных испытаний были выявлены следующие замечания:

* При существующей конструкции защитной плиты и кристаллизатора возможно повреждение датчика и крепежного кронштейна, при снятии и установке защитной плиты на кристаллизатор.
* Электрический кабель и шланг воздушного охлаждения датчика, находящиеся внутри горячей камеры, должны быть проложены в специальном защитном коробе.
* При работе с датчиком использовался дополнительный модифицированный блок обработки сигналов, вместо штатного блока.
* Погрешность поддержания заданного уровня металла должна быть не хуже, чем у штатного датчика ДУМ-07
* Трасса сжатого воздуха для охлаждения датчика должна быть оснащена отдель-ным вентилем и манометром.
* Сравнительно небольшой срок службы защитного кожуха. Недостаточная на-дежность крепления защитного кожуха к датчику.

**ВЫВОДЫ**

1) Разработанный фирмой ЗАО "ТЕХНОАП" встроенный датчик уровня металла ДУМ-бортовой может эксплуатироваться в составе системы Уровень как штатный.

2) Датчик ДУМ-бортовой позволяет улучшить условия работы технологического персонала, а также избавляет их от необходимости снимать и устанавливать датчик во время технологических операций (замены разливочного стакана, смены промковша и др.).

3) Для обеспечения лучшей защищенности датчика и кабельной трассы, а также для упрощения его установки необходимо:

* модифицировать детали крепления датчика к кристаллизатору, конструкцию воротника, защитной плиты и кристаллизатора;
* поместить кабель и воздушный шланг датчика, проложенные в горячей зоне, в защитный короб.

# Список литературы

1. Автоматизация непрерывной разливки стали. Под редакцией Б.Б.Тимофеева. Киев 1968 г.
2. Системы слежения за перемещением затравки и заготовки и регулирования уровня метала в кристаллизаторах МНЛЗ. Под редакцией Г. Шмитза.BBC – Nachrichten, 1977.
3. Черная металлургия. Серия Автоматизация металлургического производства. Автоматизация МНЛЗ в СССР и за рубежом. Москва 1983 г.
4. Труды шестого конгресса сталеплавильщиков *А.П.ЕВТЕЕВ, А.ЛЖНАТОВ (НПО "Техносталь",* ГУ/7 *"Зарубежчермет-Арсенал"). Москва 2001г.*
5. http://www.technoap.ru