

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ВЫБРОСОВ РАСПЛАВА ИЗ КОНВЕРТЕРА СРЕДСТВАМИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА КИСЛОРОДНОЙ ФУРМЫ

Мещеряков А.Ю.

Научный руководитель – профессор Лукьянов С.И.

Магнитогорский Государственный Технический Университет им. Г.И. Носова

Основным направлением дальнейшего развития кислородно-конвертерного процесса является увеличение производительности и повышение качества выплавляемого металла. Одним из способов решения этих задач является автоматизации процессов управления выплавкой стали. Отсутствие объективных оценок текущей информации, характеризующих динамику окисления углерода, затрудняет управление плавкой, что приводит к выбросам расплава. Нарушение технологического режима во время выбросов приводит к ухудшению качества выпускаемой стали, потерям металла и, в крайних случаях, к потере всей плавки. Указанные проблемы могут быть решены путем согласованного управления электроприводом подъемного механизма кислородной фурмы с обратной связью по параметрам процесса продувки. Внедрение подобной системы приведет к сокращению длительности продувки и расхода шлакообразующих за счет предотвращения аварийных ситуаций, связанных с выбросами расплава. Достижение указанной цели связано с решением двух поэтапных задач. На первом этапе – разработать достоверную и быстродействующую систему диагностирования шлакового режима хода продувки, позволяющую предсказывать развитие выбросов расплава через горловину конвертера. На втором этапе – разработать и внедрить систему управления электроприводом кислородной фурмы конвертера, корректирующей положение фурмы при возникновении угрозы выброса расплава.

В настоящее время в ККЦ ОАО «ММК» действуют три кислородных конвертера объемом 370 тонн каждый с верхним способом продувки. Управление технологическим процессом осуществляется оператором при помощи АСУТП «Плавка». Основной способ ведения продувки заключается в ступенчатом регулировании высоты фурмы и расхода кислорода по утвержденным шаблонам для каждого типа стали. Динамическая коррекция управляющих воздействий осуществляется оператором дистрибутора на основании данных о химическом составе отходящих газов по показаниям газоанализаторов, визуального наблюдения горловины конвертера и по данным системы вибрационного контроля производства НПО «Техноап».

Применяемый способ управления продувкой конвертера имеет существенные недостатки: низкую эффективность контроля состояния плавки вследствие неоднозначности показаний газоанализаторов и существующей системы вибродиагностики; в случае чрезмерного вспенивания шлака положение фурмы корректируется с задержкой более чем на 20 с, что не позволяет предотвратить выбросы расплава, развитие которых происходит в течении 3-4 с.

Косвенная оценка угрозы выбросов расплава осуществлялась путем анализа параметров вибрации корпуса кислородного конвертера и технологических параметров продувки. Анализ сигнала вибрации проводился при помощи дискретного преобразования Фурье. Возникновение выбросов в ходе продувки отмечалось визуально при помощи цифровой видеокамеры, установленной напротив горловины конвертера. Статистическая обработка собранного массива диагностических сигналов

показала их существенную нестационарность. Определены диапазоны значений технологических параметров, при которых возможно возникновение выбросов:

$$P_{В\text{днн}} = (4200 \text{ м}^3 < Q_{O_2} < 14700 \text{ м}^3) \wedge (H_{\phi} < 3,5 \text{ м}) \wedge (t_{np} > 1337 - 11,25 M_{\text{л}}), \quad (1)$$

где Q_{O_2} - суммарный расход кислорода, м^3 ; H_{ϕ} - высота фурмы, м; t_{np} - длительность продувки, с; $M_{\text{л}}$ - масса лома в шихте.

Разработана методика синтеза диагностической модели для оценки угрозы выбросов расплава с применением методов машинного обучения. Проведено сравнение нескольких методов машинного обучения для идентификации выбросов расплава. Наименьшую ошибку классификации показал метод решающих деревьев. На основе проведенных исследований разработана система диагностирования выбросов расплава из кислородного конвертера (рис. 1). В подсистему обучения модели подается массив архивных данных, состоящий из сигналов вибродатчиков $G1$, $G2$, параметров технологического процесса D_{ASU} , сигнала наблюдения выбросов V . После преобразования исходных данных формирует выборка \hat{S} , используемая для обучения модели. В режиме диагностирования на основе поступающих сигналов d_{ASU} , $g1$, $g2$ производится идентификация выбросов моделью M и формируется предупреждающий сигнал F' .

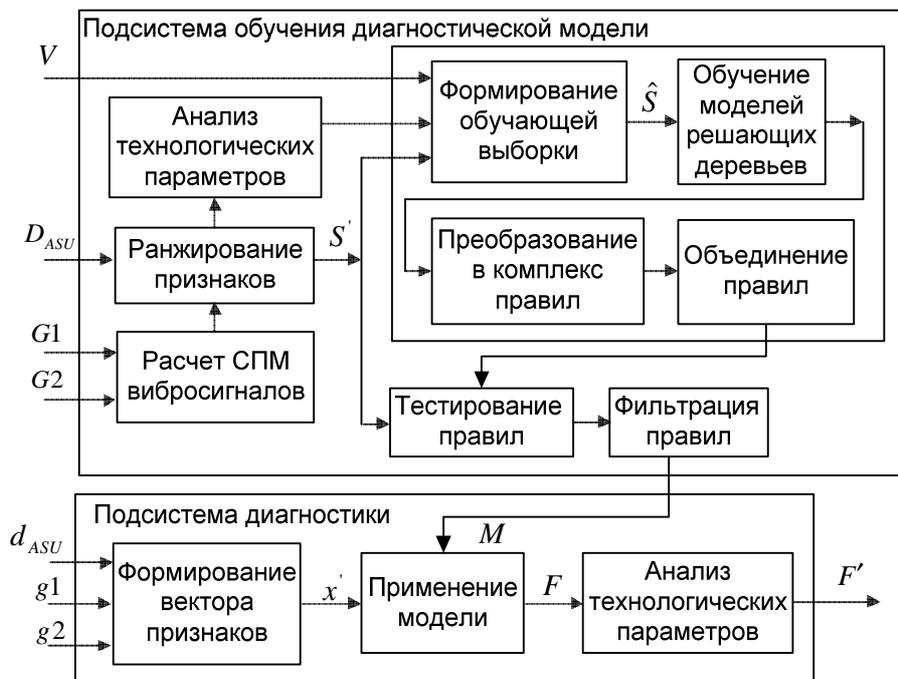


Рис. 1. Структурная схема системы диагностирования выбросов расплава

Разработанная система диагностирования была обучена на архивных данных 150 продувок конвертера №1. Результаты тестирования диагностической модели на архивных данных 260 продувок конвертера №1 приведены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты тестирования системы диагностирования выбросов расплава

| Характеристика | Выбросы наблюдались | Выбросы не наблюдались |
|--------------------------------------|---------------------|------------------------|
| Диагностирована возможность выбросов | 32 | 4 |
| Диагностировано отсутствие выбросов | 7 | 217 |
| Чувствительность модели Se | 82% | |

| | |
|----------------------------|-----|
| Специфичность модели S_p | 98% |
|----------------------------|-----|

Возникновение выбросов диагностировалось за время от 24 до 9 с до визуального наблюдения. Для оценки качества классификации ситуаций применены критерии чувствительности и специфичности. Чувствительность определяется как доля верных случаев диагностирования выбросов расплава:

$$Se = \frac{TP}{TP + FN} 100\% , \quad (3)$$

где TP - количество верно классифицированных случаев выбросов расплава, FN - количество ложно классифицированных случаев нормального состояния продувки. Специфичность определяется как доля верных случаев диагностирования нормального состояния продувки:

$$Sp = \frac{TN}{TN + FP} 100\% , \quad (4)$$

где TN - количество верно классифицированных случаев нормального состояния продувки, FP - количество ложно классифицированных случаев выбросов расплава.

Проведена оценка динамики влияния перемещения кислородной фурмы во время плавки на устойчивость шлакового режима. Для исследования этой взаимосвязи проведен активный эксперимент, в ходе которого в режиме нормально вспененного шлака оператором дистрибутора ступенчато изменялось положение фурмы. Из полученных результатов следует, что перемещение фурмы вверх на 0,3 м наличии сигнала угрозы выбросов сопровождается дальнейшим его вспениванием за счет накопления оксидов железа в шлаке. При опускании фурмы наблюдалась нормализация уровня шлака.

Проведено исследование эффективности способа предотвращения выбросов путем перемещения кислородной фурмы. Из полученных результатов следует, что в 57% случаев опускание фурмы в два этапа на величину 0,3 м до 0,6 м позволяет нормализовать шлаковый режим, предотвратив выбросы расплава через горловину конвертера. В 24% случаев полностью предотвратить выбросы не удалось вследствие задержки внесения корректирующего воздействия оператором и задержки отработки задания электроприводом механизма перемещения кислородной фурмы. Разработан способ автоматического управления электроприводом механизма перемещения кислородной фурмы при угрозе выбросов расплава, заключающийся в предварительном растормаживании подъемного механизма при достижении сигналом вероятности выброса уровня 72%. В 19% случаев опускание кислородной фурмы при угрозе выбросов не привело к нормализации процесса, что свидетельствует о том, что причиной развития выбросов в этих случаях было не переокисление шлака, а возникновение значительных колебаний зеркала расплава.

Задержки в отработке задания на перемещение кислородной фурмы при угрозе выбросов могут быть значительно снижены путем предварительного растормаживания и последующего корректирующего перемещения фурмы средствами системы автоматического управления электроприводом кислородной фурмы без участия оператора дистрибутора. Для предотвращения выбросов расплава кислородную фурму следует перемещать в различных направлениях в зависимости от причин развития выбросов. Для решения этой задачи разрабатывается модель развития выбросов расплава, учитывающая геометрические параметры конвертера, технологические параметры плавки и параметры сигнала вибрации корпуса кислородного конвертера.

Проведенные исследования позволяют разработать систему автоматического управления электроприводом механизма перемещения кислородной фурмы конвертера. Внедрение указанной системы позволит предотвратить выбросы расплава из

конвертера, тем самым стабилизировать шлаковый режим плавки, сократить длительность продувки, снизить расход шлакообразующих материалов.