

А. А. Оленников, В. А. Долгушин

Тюменский государственный университет, г. Тюмень

УДК 004.75, 004.056

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ СТЕНД СТРУЙНО-ЭМУЛЬСИОННОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО АГРЕГАТА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ШТАТНОЙ И АВАРИЙНОЙ РАБОТЫ

Аннотация. В работе представлен проект автоматизированного низкотемпературного физического стенда металлургического струйно-эмульсионного процесса, позволяющий имитировать штатную и аварийную работу каждого агрегата, в том числе при вмешательстве злоумышленников. Кратко описана технология работы металлургического процесса и средств автоматизации, а также некоторые возможные аварийные ситуации.

Ключевые слова: струйно-эмульсионный металлургический агрегат, реактор-осциллятор, система гарнисажного охлаждения, контроллер, Scada-система, злоумышленник.

Введение. В современных реалиях функционирование промышленных предприятий трудно представить без автоматизированных систем управления производственными и технологическими процессами. Речь идет о сложной сетевой инфраструктуре, включающей в себя: датчики, работающие на различных интерфейсах; контроллеры различных уровней; модули ввода-вывода сигналов; преобразователи интерфейсов и т. д. В большинстве случаев сетевая инфраструктура включает в себя сети разного уровня, например RS-232, RS-485, Ethernet и т. д. По ним осуществляется передача данных до технологических серверов, на которых базируется Scada-

система. В большинстве случаев в состав Scada-систем могут входить интеллектуальные самообучающиеся системы управления. Все вместе это позволяет вести технологический процесс на оптимальном уровне, это и соответствие выходной продукции требуемым ГОСТам и стандартам, и оптимальное распределение сырья на начальных стадиях процесса. Примером таких процессов могут быть металлургические процессы твердо- и жидкофазного восстановления железа, теплоэнергетические агрегаты при ТЭЦ, машиностроительной отрасли и т. д. Практически любые несанкционированные вмешательства в автоматизированную систему таких производств склоняют к дестабилизации протекающий технологический процесс, а в некоторых ситуациях приводят к серьезным авариям, несчастным случаям и дорогостоящим капитальным ремонтам.

Проблема исследования. Таким образом, организация защиты информации, обрабатываемой в АСУ ТП, предупреждение умышленного или неумышленного вмешательства в штатную и запланированную ее работу, исключение несанкционированного доступа к конфиденциальной информации становятся неотъемлемой частью любого технологического процесса.

Материалы и методы. *Краткое описание технологии.* Рассмотрим принцип работы и автоматизацию процесса на примере металлургического струйно-эмульсионного агрегата типа СЭР, разработанный коллективом кафедры информационных технологий в металлургии при Сибирском государственном университете, г. Новокузнецк. Подробная технология и творческий коллектив, принимавший активное участие при разработке данного процесса представлены в монографии [1].

На рис. 1 представлена технологическая схема агрегата типа СЭР, а структурная схема автоматизации приведена на рис. 2. В этой установке отражено гидродинамическое подобие процессов протекающих в новом самоорганизующемся струйно-эмульсионном металлургическом процессе. На этой установке возможно моделирование некоторых диссипативных структур: реактор-осциллятор с газодинамическим запирающим, ядро уплотнения встречных струй, сепаратор металла, шлака и газа, кипящий слой и др. [2-4].

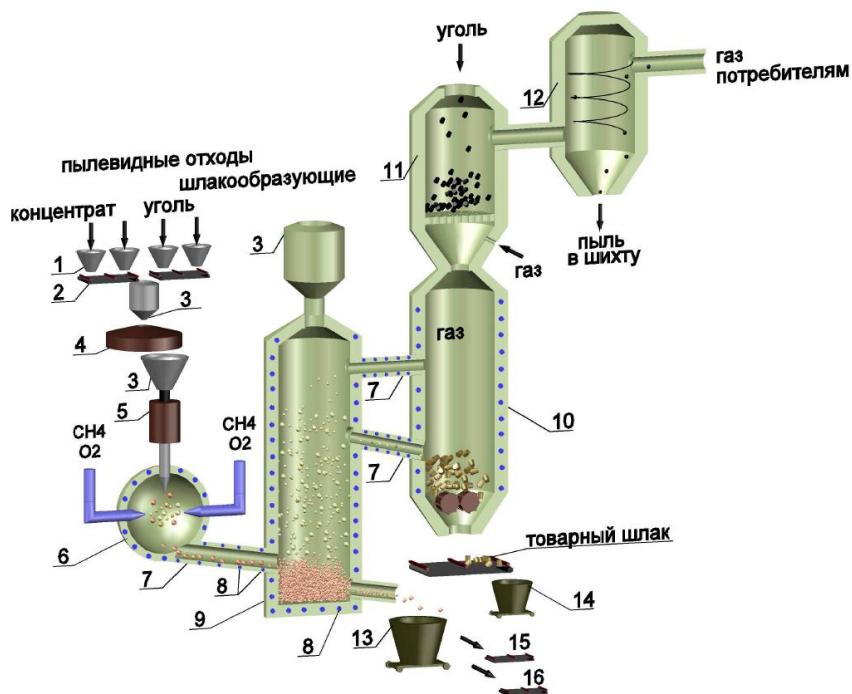


Рис. 1. Модель струйно-эмульсионного металлургического агрегата

- 1 — накопительный бункер; 2 — транспортные питатели;
 3 — система дозирования; 4 — смеситель; 5 — шнековый питатель;
 6 — реактор-осциллятор; 7 — соединительный канал; 8 — система гарнисажного охлаждения; 9 — рафинирующий отстойник;
 10 — реактор-гранулятор; 11 — колонна кипящего слоя; 12 — циклонный фильтр; 13 — разливочный ковш; 14 — приемник товарного шлака;
 15 — линия для литья; 16 — линия разливки металла

Рассмотрим основные функциональные возможности установки ориентируясь на рис. 2. Компрессором низкого давления 1 в подогреватель воздуха 2 подается сжатый воздух. В установке 2 задается требуемая температура и давление необходимые для технологического процесса, ориентируясь на датчики 3 и 4, затем подготовленный воз-

дух под давлением поступает по соединительным каналам 7 в реактор-осциллятор 14. Для регулирования расхода воздуха на канале 7 предусмотрены запорно-регулирующий клапан с электроприводом 8 и расходомер 5. В буферном баке для воды 10 установлены электрические тэны, а на соединительном канале 11 — клапан с электроприводом 12.

Таким образом, в реактор 14 по соединительным каналам 7 и 11 через установленные на их концах сопла подается под давлением вода (имитирующая сырьё, возможно подмешивание твердых взвешенных частиц) и воздух (имитирующий окислитель или топливо), где при взаимодействии встречных потоков газа образуется ядро уплотнения, а во взаимодействии с вертикальным потоком конденсированной фазы образуется мелкодисперсная газовзвесь.

Свойства этого образовавшегося ядра в зависимости от технологического режима можно изменять при помощи установленной арматуры 9 и 13 на соединительных каналах 7 и 11. Благодаря эффекту критического стечения двухфазной жидкости через эффект аэродинамического запираения соединительного канала создается высокий потенциал давления. Образовавшаяся газовзвесь по соединительному каналу 15 поступает в рафинирующий отстойник 16.

В нижней части рафинирующего отстойника 16 предусмотрен сливной канал 17 с ручным запорно-регулирующим краном 18. Канал 17 используется для отвода воды (имитирующая жидкий металл). С боковых сторон агрегата 16 установлены датчики температуры и давления. Образовавшаяся в верхней части рафинирующего отстойника 16 легкая пена совместно с газом поступают по соединительным каналам 19 в реактор-гранулятор 20. Образовавшаяся в нижней части гранулятора 20 рыхлая пена (шлак), по соединительному каналу 21 удаляется из агрегата. Поступающий из рафинирующего отстойника 16 в реактор-гранулятор 20 отходящий газ транспортируется по соединительному каналу 22 в утилизатор тепловой энергии 23, где происходит отдача теплоты от отходящего газа к теплообменным контурам утилизатора тепловой энергии. По водяным контурам агрегата 23 осуществляется циркуляция охлаждающей воды, в результате чего отбирается тепловая энергия от труб

утилизатора тепловой энергии. Интенсивность циркуляции воды по контурам агрегата 23 изменяется путем подачи электрической энергии на насос, установленный на гидравлическом контуре утилизатора тепловой энергии, что повлияет на температуру отходящего газа. По соединительному каналу 24 отходящий газ поступает в колонну кипящего слоя 25, который в общем виде состоит из трех основных частей: цилиндрического корпуса, подовой и купольной решеток. Такие аппараты изготавливают под конкретный проект.

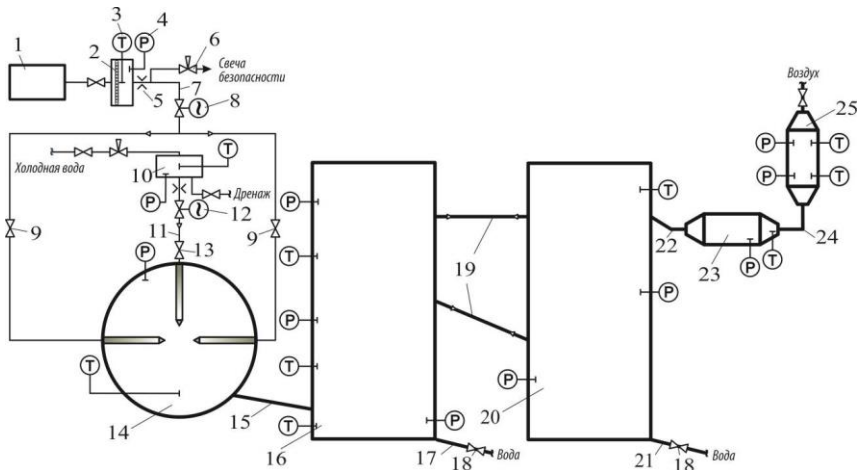


Рис. 2. Принципиальная схема автоматизации

- 1 — компрессор низкого давления; 2 — подогреватель воздуха;
- 3 — датчик температуры; 4 — датчик давления; 5 — электронный расходомер; 6 — клапан сброса избыточного давления; 7, 11, 15, 17, 19, 21, 22, 24 — соединительные каналы; 8, 12 — клапан с электроприводом;
- 9, 13, 18 — ручной запорно-регулирующий кран; 10 — буферный бак;
- 14 — реактор-осциллятор; 16 — рафинирующий отстойник;
- 20 — реактор-гранулятор; 23 — утилизатор тепловой энергии;
- 25 — колонна кипящего слоя

Блок автоматизации процесса. Состоит из двух подсистем: контроля и регулирования подачи газов; контроля и управления шихтоподачей. Логическая часть установки базируется на программируемом логическом контроллере ПЛК-150 (ПЛК) компании ОВЕН.

Данный контроллер обладает рядом преимуществ, одно из них — отсутствие операционной системы и в связи этим возможность работы по любому нестандартному протоколу, широкие возможности самодиагностики, возможность «горячей» замены программы, встроенный аккумулятор и часы реального времени. ПЛК конфигурируется при помощи рабочей станции через интерфейсы RS-232, RS-485 или Ethernet и программного комплекса CoDeSys [3].

Отметим, что в системе измеряются температура, избыточное давление и дифференциальное давление (расход). В связи с этим в установке используются: датчики избыточного давления ОВЕН ПД100; датчики дифференциального давления Элемер АИР-10; термомпары ОВЕН ДТПЛ 204. Для регулирования расхода реагентов используется запорно-регулирующий кран с электроприводом.

Также необходимо выделить две подсистемы: верхнего уровня и нижнего уровня.

Первая подсистема связывает между собой технологические серверы, клиентские рабочие станции и ПЛК. Связь в данной системе происходит по протоколу ModbusTCP с использованием интерфейса Ethernet, который позволит любой рабочей станции в локальной сети получить доступ к HMI системы автоматизации. Для доступа такого рода необходима установка Scada-системы Aggregate на клиентских компьютерах. Использование локальной сети в качестве сети передачи данных является причиной использования протокола ModbusTCP. Таким образом, эта подсистема позволяет осуществлять дистанционный многопользовательский доступ к данному стенду.

Вторая подсистема — нижнего уровня, она объединяет элементы автоматики (ПЛК, МВА-8, датчики). Связь в этой системе производится по протоколу Modbus с использованием интерфейса RS-485. Использование интерфейса RS-485 в наши дни является стандартом для организации связи между электронными средствами автоматизации.

Таким образом, для передачи данных с нижнего уровня на верхний существует три альтернативных канала передачи данных. Основным каналом связи выступает интерфейс Ethernet, а в качестве резервных — интерфейсы COM и USB. При обрыве связи по одному

из каналов OPC-сервер произведет автоматическое переключение на резервный канал (очередность переключения следующая — Ethernet, COM, USB). Данное решение позволяет существенно повысить надежность системы.

Далее необходимо отметить, что в информационной подсистеме передаются либо контролируемые, либо настроечные параметры.

К контролируемым параметрам относятся: температура и давление в нагревательном контуре; температура и давление в буферном баке; температура и давление в реакторе-осцилляторе; температура и давление в рафинирующем отстойнике в 3 точках; температура и давление в реакторе-грануляторе в 2 точках.

К *настроечным параметрам* относятся: расход и температура реагентов, поступающих в реактор-осциллятор.

Контролируемые параметры передаются от датчиков в виде аналогового сигнала в модуль аналогового ввода МВА-8, после чего МВА-8 преобразует аналоговый сигнал в цифровой и передает данные в ПЛК. Затем OPC-сервер принимает данные от ПЛК. Из OPC сервера данные попадают в базу данных (в режиме OPC-HDA — HistoricalDataAccess) и в HMI (в режиме OPC-DA — DataAccess).

Необходимость накапливать исторические данные в режиме OPC-HDA обусловлена тем, что наличие большого количества таких данных делает возможным проведение различного рода исследований, связанных с процессами, протекающими в агрегатах типа СЭР. Для создания и ведения баз данных «исследование» и «протокол» применена система управления базами данных, отвечающая требованиям современных сетевых СУБД (MS SQL). Передача данных в СУБД осуществляется с помощью LectusModbus OPC/DDE сервера. Данные из ПЛК-150 (под управлением CoDeSys) через интерфейс Ethernet по протоколу Modbus TCP поступают в ПК, а именно в программу LectusModbus OPC/DDE сервер. Далее используют спецификацию OPC DA (DataAccess) данные в реальном времени поступают в Scada-систему отображаясь на мнемо-схеме и записываются в БД (MS SQL).

Особое внимание уделяется настроечным параметрам всей системы, они задают режим работы всех агрегатов входящих в металлургический процесс. Необходимый набор значений базовых настроечных параметров, необходимых для работы всего процесса записываются в специальной ячейки памяти ПЛК. Если возникнет необходимость изменить настроечные параметры, это возможно выполнить через НМІ. Возможные корректировки передаются через OPC-сервер в ПЛК, где изменяются настроечные параметры по умолчанию на заданные.

Сетевая инфраструктура. На рис. 3 представлена принципиальная схема сети низкотемпературного стенда, включающая подсети различных уровней. Условно общая сеть состоит из четырех уровней.

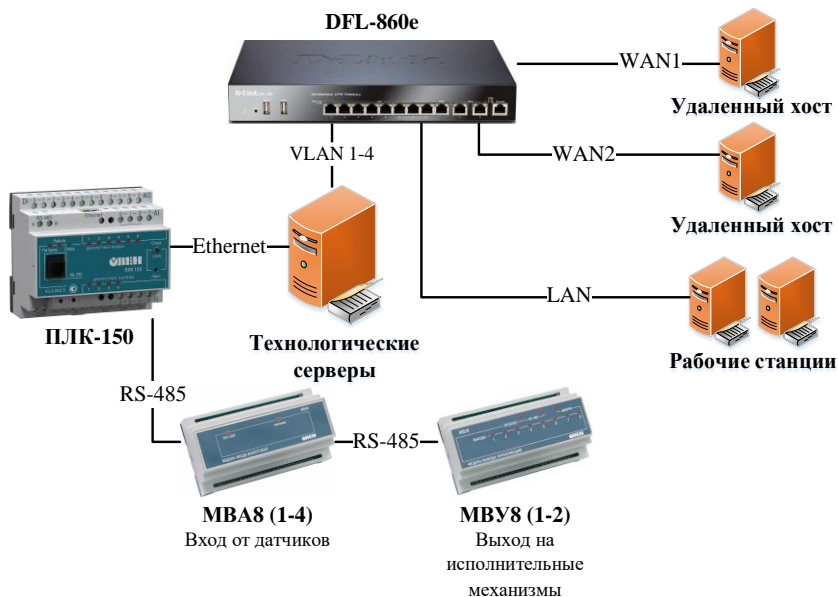


Рис. 3. Структурная схема подключения телекоммуникационных узлов стенда: MBA8 — модуль ввода аналоговый; MBY8 — модуль вывода управляющий

На первом уровне базируются датчики и исполнительные механизмы, связанные с модулями МВА8 и МВУ8. Второй уровень — Связь МВА8 и МВУ8 с контроллером ПЛК-150. Третий уровень — связь ПЛК-150 с технологическими серверами, на которых базируется основное программное обеспечение, отвечающее за мониторинг и управление технологическим процессом, системы логирования и самодиагностики узлов автоматизации, расширяемые базы данных. Четвертый уровень включает в себя рабочие станции, часть из них выполняют роль автоматизированных рабочих мест, предназначенных для управления процессом, другая часть — возможные злоумышленники со специальным инструментарием, предназначенным для организации различных атак и других несанкционированных действий с внутренней сети. Удаленные хосты, подключенные через каналы WAN1 и 2 также могут обрабатывать роли рабочих станций, находящихся на четвертом уровне. Межсетевой экран DFL-860e служит для разделения сетей, имеет гибко настраиваемый файрвол и ряд другого функционала, отвечающего за защиту сетевой инфраструктуры процесса.

Для дестабилизации сетевой инфраструктуры и узлов автоматизации в рамках низкотемпературного стенда возможно применение потенциальных угроз, представляющих опасность для всей системы в целом: ARP-spoofing; VLAN-hooping; VLAN-spoofing или атака на DTP-протокол; атаки на Native VLAN; широковещательные штормы в xSTP и STP-attack; DoS-атаки.

Возможные аварийные ситуации. Для агрегата, представленного на рис. 1, характерна высокая интенсивность газодинамических процессов и термоагрессивность среды. В связи с этим реактор-осциллятор, рафинирующий отстойник, реактор-гранулятор и соединительные каналы имеют систему охлаждения назначение которой, формирование гарнисажного слоя внутри агрегатов и выработка товарной тепловой энергии в целях теплоснабжения. Система охлаждения представляет из себя сложную инженерную инфраструктуру, включающую в себя циркуляционные насосы, запорно-

регулирующую арматуру с электроприводами и комплекс автоматики. Внедрение злоумышленников в эту систему может привести к опасным аварийным ситуациям связанными с резкими перегревами или переохлаждениями агрегатов. В последующем это приведет к несчастным случаям и дорогостоящим ремонтным компаниям.

Вмешательство в автоматизированную систему утилизатора тепловой энергии, приведет к нарушению технологического режима связанным с отбором отходящего газа, например, для производства синтез-газа [5]. Перегретый газ с примесями CO и CH₄ является взрывоопасным, возникает риск воспламенения газа при малейшем контакте с окислителем. Если же брать во внимание гидравлическую часть утилизатора тепловой энергии с которой может работать паровая турбины в целях выработки электрической энергии, дестабилизация этой системы напрямую окажет влияние на электрические сети, и конечно же, на энергопотребителей.

Заключение. Таким образом, разработанный на основании проекта низкотемпературный стенд позволит отрабатывать следующие задачи: осуществлять контроль и управление технологическим процессом; организовывать согласованную работу узлов и механизмов; осуществлять диагностику и текущее состояние оборудования; выполнять сбор и хранение данных; выполнять анализ и предварительную обработку информации; имитировать аварийные ситуации при физическом и информационном воздействии; проводить эксперименты с сопоставлением данных на реальные процессы.

Основным же преимуществом созданной установки является моделирование штатной и аварийной работы металлургического агрегата, возможность экспериментальной проверки адекватности создаваемых математических моделей с последующим переносом результатов на реальные процессы. Реализованный стенд по предложенному проекту будет полезен студентам, аспирантам, научным сотрудникам, диспетчерам и операторам технологических процессов в целях повышения квалификации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Процесс СЭР — металлургический струйно-эмульсионный реактор / В. П. Цымбал, С. П. Мочалов, И. А. Рыбенко [и др.]. — Москва : Металлургиздат, 2014. — 488 с. — Текст : непосредственный.
2. Цымбал В. П. Модели и механизмы самоорганизации в технике и технологиях : в 3 ч. Ч. III. Примеры реализации идей и принципов синергетики: учебное пособие / В. П. Цымбал, С. П. Мочалов, С. Н. Калашников ; под ред. В. П. Цымбала. — Новокузнецк, 2005. — 264 с. — Текст : непосредственный.
3. Background and principles of self-organizing jet-emulsion metallurgical unit / V. P. Tsybmal, V. I. Kozhemyachenko, I. A. Rybenko [et al.]. — Text : direct // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 19, Technologies, Innovation, Quality. Сер. XIX International Scientific Conference on Metallurgy: Technologies, Innovation, Quality, Metallurgy 2015. — 2016. — P. 012018.
4. Управление физико-химическими процессами струйно-эмульсионном реакторе путем создания диссипативных структур / В. П. Цымбал, С. П. Мочалов, К. М. Шакиров [и др.]. — Текст : непосредственный // Творческое наследие В. Е. Грум-Гржимайло: история, современное состояние, будущее. Конференция, посвященная 150-летию со дня рождения великого русского ученого-металлурга Владимира Ефимовича Грум-Гржимайло. — 2014. — С. 486-495.
5. Разработка математических моделей для глубокого использования энергии исходного топлива на основе агрегатов прямого восстановления железа / А. А. Оленников, В. П. Цымбал. — Текст : непосредственный // Отчет о НИР № №2-14АКО. Грант Губернатора Кемеровской области для поддержки молодых ученых — кандидатов наук. — 2014. — 49 с.