

© А.А. ОЛЕННИКОВ, Е.А. ОЛЕННИКОВ, А.А. ЗАХАРОВ

оaa@circul—m.ru, olennikov@utmn.ru, azaharov@utmn.ru,

УДК 669

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС МНОГОУРОВНЕВОЙ  
СИСТЕМЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ  
РЕЖИМОВ В СТУПЕНЯХ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО АГРЕГАТА  
ТИПА СТРУЙНО-ЭМУЛЬСИОННОГО РЕАКТОРА (СЭР)\***

*АННОТАЦИЯ. В статье описывается разработанная низкотемпературная газодинамическая модель самоорганизующегося струйно-эмульсионного агрегата и лабораторный комплекс, созданный на ее основе. Представлена автоматизированная схема управления лабораторным комплексом, подробно описаны составляющие схемы автоматизации, при помощи которых измеряются и анализируются температура, избыточное и дифференциальное давление. Приведена схема взаимодействия объектов системы автоматизации с разделением на подсистемы верхнего и нижнего уровней. Показана схема движения данных в системе автоматизации с указанием путей перемещения контрольных и настроечных параметров. Созданный лабораторный комплекс открывает широкие возможности для исследования процессов газодинамики в энергоиспользующих установках, а также может быть использован в учебном процессе для организации лабораторных работ. В ходе использования лабораторного комплекса на наглядном примере можно ознакомиться с самоорганизующимся процессом, а также проводить исследования в области самоорганизации на примере процессов, протекающих в струйно-эмульсионных агрегатах.*

*SUMMARY. The article presents the developed low-temperature gas-dynamic model of self-organizing spray-emulsion unit and the laboratory complex set up on its basis. It also has a description the automated system of control for the laboratory complex, as well as the detailed account of the automated system components used for measurement and analysis of temperature, excess pressure, and deferential pressure. The authors offer the interaction pattern of the automated system components reflecting their division into to the subsystems of the upper and the lower levels. They also provide a diagram showing the movement of data in the automation system and pathways of control and adjustment parameters. The laboratory complex developed gives wide opportunities for the study of gas dynamics in energy-consuming units. It can also be used in academic activities, in particularly for organizing laboratory work. article presents the developed low-temperature gas-dynamic model of self-organizing jet-emulsion aggregate and the laboratory complex created on its basis. The automated system of the laboratory complex control is shown, as well as the detail description of the automated system components used for measurement and analysis of temperature, excess pressure, and deferential pressure. The interaction pattern of the automated system components with splitting to the subsystems of the upper and the lower levels is described. A diagram showing the*

\* Цымбал В.П., Мочалов С.П. Способ получения металлов из рудных материалов и агрегат для его осуществления. Патент РФ № 2272849: Бюллетень РСТ: № 9. 2006 г. 12 с.

*movement of data in the automation system and pathways of control and adjustment parameters is also presented. The developed laboratory complex control software is outlined. The invented laboratory complex gives wide opportunities for study of gas dynamics in energy-consumed units. It can also be used in the academic activity, in particular for organizing of laboratory works.*

*The usage of the laboratory complex allows familiarizing with a self-organizing process at an actual example, conducting research work in area of self-organization used processes taking place in the jet-emulsion type aggregates.*

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Агрегат типа СЭР, датчик, контроллер, схема взаимодействия объектов, схема движения данных.*

*KEY WORDS. Self-organizing spray-emulsion (SOSEU) type unit, sensor, controller, objects interaction pattern, data traffic pattern.*

За последние годы резко возрос интерес к процессам и промышленным агрегатам жидкофазного восстановления, одним из которых является струйно-эмульсионный реактор (СЭР) [1]. Это связано с громоздкостью и многозвенностью традиционной аглококсодоменной технологии, прогнозируемым дефицитом на кокс и возможностью использования в качестве восстановителя дешевых низкосортных пылевидных руд и отходов. Однако, с позиции энергосбережения подобный процесс требует дальнейшего совершенствования. Только с отходящими газами, температура которых порядка 1600 °С, теряется около половины энергии исходного топлива, выбрасываемой в окружающую среду. Такие потери тепла приводят к существенному снижению КПД металлургических агрегатов, а попытки освоения полной тепловой энергии в рабочей камере процесса приводят к нежелательным результатам и, чаще всего, к ухудшению выхода основной продукции [2].

В связи с этим перспективным направлением является экономия топлива путем одновременного снижении тепловых потерь с отходящим газом и комплексного использования продуктов сгорания для технологических, энергетических и химических видов утилизации энергии [3]. Наибольшего энергосберегающего эффекта можно достичь, используя установки, в которых продукты сгорания отдают свою энергию, последовательно направляясь из высокотемпературного источника в средне- и низкотемпературные устройства для более полного использования теплоты [4]. При этом возможно также использование химической энергии [5]. Однако, основное влияние на теплообмен в системе оказывает процесс газодинамики. Именно для исследований процессов газодинамики в агрегате СЭР и энергоиспользующих установках создана низкотемпературная газодинамическая модель самоорганизующегося струйно-эмульсионного агрегата (рис. 1), на которой, кроме основной задачи (исследование газодинамики двухфазных сред), возможна реализация многоцелевых лабораторно-практических работ для всех основных уровней систем автоматизации.

С помощью комплекса могут решаться следующие задачи:

- 1) осуществления контроля, регулирования и управления механизмами, системами и процессом в целом;
- 2) обеспечения согласованной работы оборудования;
- 3) диагностики и мониторинга оборудования;
- 4) предотвращения аварийных ситуаций;

- 5) сбора и хранения информации о ходе лабораторных работ;  
6) анализа и подготовки выводов по поводу наиболее рационального использования процесса.

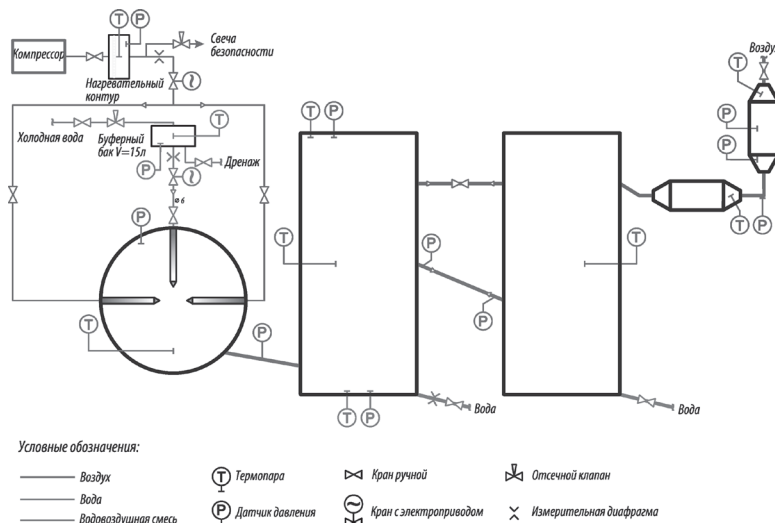


Рис. 1. Схема автоматизации лабораторной установки

Остановимся на аспектах создания системы автоматизации лабораторной установки, составными частями которой являются: шкаф автоматизации; система подачи реагентов; реакционные агрегаты; программируемый логический контроллер (ПЛК); датчики; электропривод с отсечным клапаном.

Шкаф автоматизации содержит: три аналоговых модуля ввода (МВА—8); два многоканальных блока питания (БП14—Д4.4—24); один модуль дискретного вывода (МУ110—224.8Р).

В состав реакционных агрегатов входят пять объектов, один сферической формы (реактор-осциллятор), остальные цилиндрической формы (реактор-гранулятор, рафинирующий отстойник, котел-утилизатор, аппарат кипящего слоя). Агрегаты выполнены из оргстекла.

«Мозгом» установки является программируемый логический контроллер ПЛК—150 фирмы ОВЕН. Данный контроллер обладает рядом преимуществ: отсутствие операционной системы, возможность работы по любому нестандартному протоколу, широкие возможности самодиагностики, возможность «горячей» замены программы, встроенный аккумулятор и часы реального времени. ПЛК конфигурируется персональным компьютером посредством интерфейса RS—485 и программного комплекса CoDeSys [6]. Профессиональная разработка систем автоматизации неразрывно связана с CoDeSys, основным назначением которого является разработка прикладных программ на языках стандарта МЭК 61131—3. Комплекс состоит из двух основных частей: среды программирования CoDeSys и системы исполнения CoDeSys SP. CoDeSys работает на компьютере и применяется при подготовке программ. Программы компилируются в быстрый машинный код и загружаются в контроллер. CoDeSys SP работает в контроллере, он обеспечивает загрузку и отладку кода, обслуживание ввода/вывода и прочие сервисные функции.

Отметим, что в системе измеряются температура, избыточное давление и дифференциальное давление (расход). В связи с этим в установке используются: датчики избыточного давления ОВЕН ПД100—ДИ0,6—311—1,0; датчики дифференциального давления Элемер АИР—10/М1—ДД 1457; термопары ОВЕН ДТПЦ 204—00.40/0,6. Для регулирования расхода реагентов используется электропривод с отсечным клапаном.

На рис. 1 отмечены точки подключения датчиков и места расположения запорной и регулирующей арматуры. Система автоматизации лабораторной установки состоит из двух подсистем [7]:

- подсистема контроля и регулирования подачи газов;
- подсистема контроля и управления шихтоподачей.

*Подсистема контроля и регулирования подачи газов.* Подача воздуха на продувку осуществляется от компрессора через трубопровод, на котором последовательно установлен клапан, нагревательный контур (с датчиком давления и термопарой) и нормально закрытый отсечной клапан. Измерительная диафрагма и регулирующий клапан с электроприводом необходимы для управления процессом подачи воздуха. Имеются клапаны для ручного управления расходом воздуха. В струйно-эмульсионный реактор воздух поступает через две боковые форсунки.

*Подсистема контроля и управления шихтоподачей* представляет собой водопровод диаметром 15 мм, с установленным на нем последовательно ручным клапаном и отсечным нормально-открытым клапаном. В буферном баке установлен датчик давления и термопара. Далее установлена измерительная диафрагма, регулирующий клапан с электроприводом, после которого идет сужение трубопровода до 6 мм. В реактор вода (шихта) поступает через верхнюю форсунку.

Схема взаимодействия объектов системы автоматизации приведена на рис. 2.

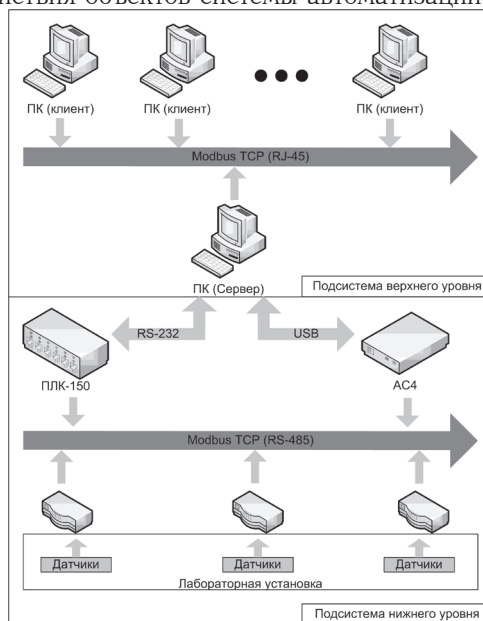


Рис. 2. Схема взаимодействия объектов системы автоматизации

Выделяем две подсистемы: 1) верхнего уровня; 2) нижнего уровня.

Первая подсистема связывает между собой серверный ПК, клиентские ПК и ПЛК. Связь в данной системе происходит по протоколу ModbusTCP с использованием интерфейса RJ—45 (локальная сеть). Использование интерфейса RJ—45 позволяет любому компьютеру в локальной сети (клиентские ПК) иметь доступ к интерфейсу управления 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 (модификация Modbus для сетей на основе TCP/IP).

Вторая подсистема — нижнего уровня — 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 RJ—45 (локальная сеть), 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 — RJ—45, COM, USB). Данное решение позволяет существенно повысить надежность системы.

На рис. 3 показана схема движения данных в системе автоматизации.

Отметим, что в информационной подсистеме передаются либо контрольные, либо настроечные параметры.

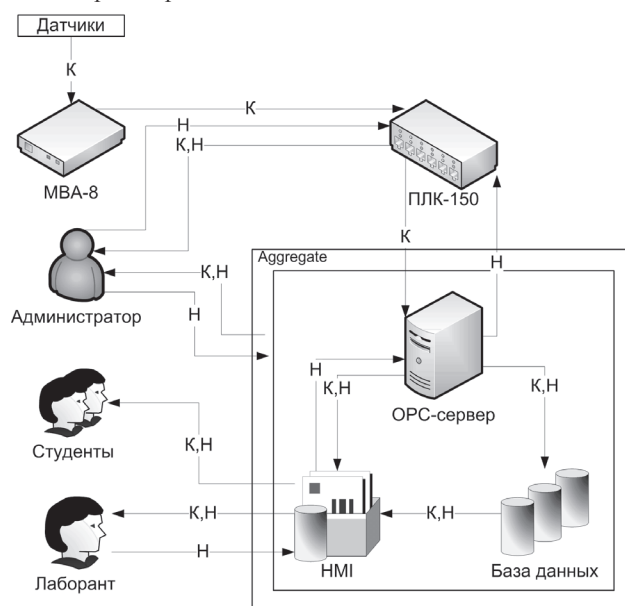


Рис. 3. Схема движения данных в информационной подсистеме

К *контрольным параметрам* относятся: температура в нагревательном контуре (подогрев воздуха); давление в нагревательном контуре (подогрев воздуха); температура в буферном баке; давление в буферном баке; температура в реакторе-осцилляторе; давление в реакторе-осцилляторе; температура в рафинирующем отстойнике в 3 точки; давление в рафинирующем отстойнике в 3 точки; температура в реакторе-грануляторе; давление в реакторе-грануляторе в 2 точках.

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

Контрольные 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 OPCNDA — HistoricalDataAccess) и в HMI (в режиме OPCDA — DataAccess).

Необходимость накапливать исторические данные в режиме OPCNDA 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) [8,9]. 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 экранной форме (рис.4) и записываются в БД (MS SQL).

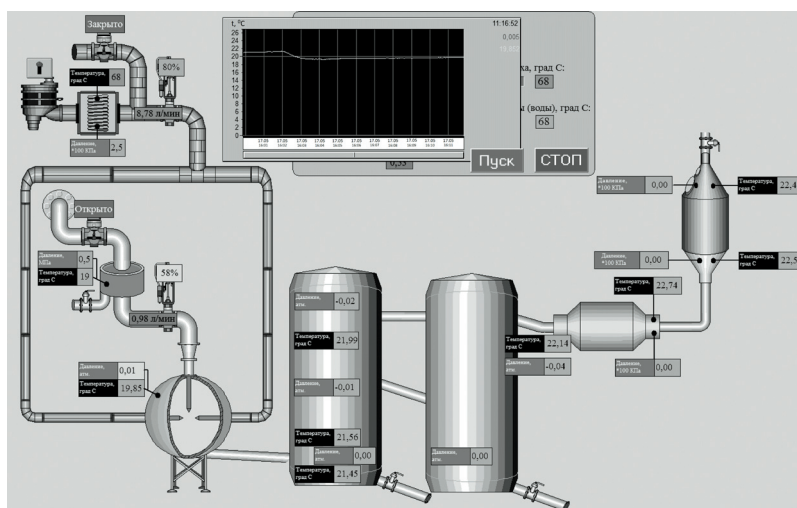


Рис. 4. Экранная форма отображения данных в программном комплексе

Важную роль в системе играют настроечные параметры — они определяют характер работы агрегатов. Набор значений настроечных параметров по умолчанию, необходимый для работы комплекса, записан в памяти ПЛК. При необходимости, настроечные параметры могут быть изменены из НМИ. Эти изменения передаются через OPC-сервер в ПЛК. В свою очередь ПЛК изменяет настроечные параметры по умолчанию на заданные.

Основными пользователями лабораторного комплекса являются студенты, лаборант и администратор. Все эти группы пользователей имеют доступ к просмотру значений контрольных и настроечных параметров в НМИ SCADA-системы. При этом задавать настроечные параметры могут лишь лаборант и администратор. Подобное разделение прав доступа сделано в целях безопасности.

Благодаря созданному автоматизированному лабораторному комплексу перед исследователями открывается широкий спектр направлений в учебной и научной деятельности. На наглядном примере можно ознакомиться с самоорганизующимся процессом. Помимо этого, в ходе использования лабораторного комплекса осваивается структура системы автоматизации и работа со SCADA-системой. Возможно изменять настроечные параметры в системе — проводить исследования в области самоорганизации [10] на примере процессов, протекающих в агрегатах типа СЭР.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. В. Цымбал, Б. Кустов, Р. Айзатулов, С. Мочалов, К. Шакиров. Запсиб: в Сибири рождается альтернативная наукоемкая металлургия постиндустриальной эпохи // Металлы Евразии. 1996. № 8. С. 114-117.
2. Оленников А.А. Схема энерго-металлургического комплекса на основе агрегата типа СЭР / Оленников А.А., Мочалов С.П., Цымбал В.П. // Управление отходами — основа восстановления экологического равновесия в Кузбассе: сб. докл. 2<sup>й</sup> международ. науч.-практич. конференции. Новокузнецк: СибГИУ, 2008. С. 186-189.
3. Оленников А.А. Утилизация и использование вторичной низкопотенциальной тепловой энергии в металлургических агрегатах / Оленников А.А., Цымбал В.П. / Современная металлургия начала нового тысячелетия: Тр. 3<sup>й</sup> международ. науч.-техн. конф.; ЛГТУ. Липецк, 2006. С. 137-142.
4. Воинов А.П., Зайцев В.А., Куперман Л.И. Котлы-утилизаторы и энерго-технологические агрегаты. М.: Энергоатомиздат, 1989. 272 с.
5. Оленников А.А., Оленников Е.А., Захаров А.А. Программный комплекс для моделирования аппарата кипящего слоя и процессов, протекающих в нем / Вестник Тюменского государственного университета. 2012. №4. Серия «Физико-математические науки. Информатика». С. 151-156.
6. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. М., 2009. 608 с.
7. Клюев А. С., Лебедев А. Т., Клюев С. А. и др. Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования: Справочное пособие. Под ред. А. С. Клюева. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1989. 368 с.
8. Кренке Д. Теория и практика построения баз данных. 8-е изд. СПб.: Питер, 2003. 800 с.
9. Грофф Дж., Вайнберг П. SQL: полное руководство: Пер. с англ. Киев: ИГ ВНУ, 2000. 608 с.
10. Трубецков Д. И., Мчедлова Е. С., Красичков Л. В. Введение в теорию самоорганизации открытых систем: Учебное издание. М.: Физматлит, 2005. 212 с.

## REFERENCES

1. Cymbal, V., Kustov, B., Ajzatulov, R., Mochalov, S., Shakirov, K. Western Siberia: Siberia witnesses the emergence of an alternative high-end metallurgic technology of the post-industrial type. *Metally Evrazii — Eurasia Metals*. 1996. № 8. Pp. 114-117. (in Russian).
2. Olennikov, A.A., Mochalov, S.P., Cymbal, V.P. The circuitry of an energy-metallurgic plant based on self-contained spray-emulsion unit [Shema jenergo-metallurgicheskogo kompleksa na osnove agregata tipa SJeR]. *Upravlenie othodami — osnova vosstanovlenija jekologicheskogo ravnovesija v Kuzbasse: sb. dokl. 2 mezhd. nauch.-praktich. konf. (Wastes management as a basis to restore ecological balance in Kuzbas: Papers of the 2<sup>nd</sup> Int. Research Conf.)*. Novokuzneck, 2008. Pp. 186-189. (in Russian).
3. Olennikov, A.A., Cymbal, V.P. Recovery and reuse of the secondary low-grade heat energy in metallurgic units [Utilizacija i ispol'zovanie vtorichnoj nizkopotencial'noj teplovoj jenerгии v metallurgicheskikh agregatah]. *Sovremennaja metallurgija nachala novogo tysjacheletija: Trudy 3 Mezhdunarodnoj nauch.-tehn. konf. (Modern technology of the new millennium: Proc. of the 3<sup>d</sup> Inter. Scientific and Techn. Conf.)*. Lipeck, 2006. Pp. 137-142. (in Russian).
4. Voinov, A.P., Zajcev, V.A., Kuperman, L.I. *Kotly-utilizatory i jenergo-tehnologicheskie agregaty* [Recovery boilers and energy technology machines]. M.: Jenergoatomizdat, 1989. 272 p. (in Russian).
5. Olennikov, A.A., Olennikov, E.A., Zaharov, A.A. Software systems for modeling boiling water machinery and its internal processes. *Vestnik Tjumenskogo gosudarstvennogo universiteta — Tyumen State University Herald*. 2012. №4. Pp. 151-156. (in Russian).
6. *Komp'yuternoe upravlenie tehnologicheskimi processami, jeksperimentom, oborudovaniem* [Computer-based operation of technological processes, experiments and equipment]. M., 2009. 608 p. (in Russian).
7. Kljuev, A.S., Lebedev, A.T., Kljuev, S.A. et al. *Naladka sredstv avtomatizacii i avtomaticheskikh sistem regulirovaniya: Spravochnoe posobie* [Setup of computer-aided facilities and automatic regulation systems: Reference book] / Edited by A.S. Kljuev. 2<sup>nd</sup> edition, revised. M.: Jenergoatomizdat, 1989. 368 p. (in Russian).
8. Krenke, D. *Teorija i praktika postroenija baz dannyh* [Theory and practice of database]. Design 8th edition. SPb.: Piter, 2003. 800 p. (in Russian).
9. Groff, Dzh., Vajnberg, P. *SQL: polnoe rukovodstvo* [Definitive Guide to SQL]. Transl. fr. English. Kiev, 2000. 608 p. (in Russian).
10. Trubeckov, D.I., Mchedlova, E.S., Krasichkov, L.V. *Vvedenie v teoriju samoorganizacii otkrytyh sistem. Uchebnoe izdanie* [Introduction to self-organization of open systems]. M.: Fizmatlit, 2005. 212 p. (in Russian).