

7. Chubinskii A.N., Varankina G.S. Formation chipboard and low toxicity using modified adhesives // Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy zhurnal. 2013. № 6. P. 67-73.
8. Ugryumov S.A., Tsvetkov V.E. Enhancement of service characteristics of boon boards by modifying carbamide-formaldehyde binder with polyvinyl acetate dispersion // Polymer Science Series D. N.-Y.: MAIK Nauka // Interperiodica distributed exclusively by Springer Science+Business Media LLC, 2008. № 4. P. 241-243.
9. Ugryumov S.A., Tsvetkov V.E. Increase of production characteristics fire-boards by modification urea-formaldehyde binding a polyvinylacetate dispersion // Klei. Germetiki. Tekhnologii: sb. nauch. st. M., 2008. № 5. P. 20-23.
10. Aibudefe Pius. Modification of Adhesive Using Cellulose Micro-fiber (CMF) from Melon Seed Shell // Aibudefe Pius, Lawrence Ekebafé, Stella Ugbesia, Rosabel Pius // American Journal of Polymer Science. 2014. Vol. 4, № 4. P. 101-106.
11. Altinok M., Kilic A. Determination of bonding performances of modified polyvinylacetat (PVAc) and KLEBIT 303 (K.303) adhesives in different hot-surroundings // Journal of Engineering Sciences. 2004. № 10 (1). P. 73-80.
12. Selbo M. L. Adhesive bonding of wood. U.S. Dep. Agr., Tech. Bull. 1975. № 1512. 124 p.
13. Goetze H., Schultz-Dewitz G. The Influence of Fillers and other Additionel Substances on the Bonding Strenght of Adhesives with Solid Wood // Particleboard Joint, Drevivsky-Vyskum. 1987. № 114. P. 41-46.
14. Popov V.M. Influence of technological factors on the strength of the adhesive compounds of wood, formed on the basis of magneto-treated adhesives // Forestry Engineering Journal. 2015. № 3 (19). P. 175-182.
15. Popov V.M., Ivanov A.V. Intensive technology for producing laminated wood is elevated strength // Moscow state forest university bulletin - Lesnoy vestnik. 2007. № 4. P. 89-91.
16. Kalganova S.G. Electromagnetic field microwave influence on kinetic polymerizations epoxide pitches // Vestnik Saratov State Technical University. 2006. № 1 (10), Vyp. 1. P. 90-96.
17. Kalganova S.G., Kovaleva N.E., Beshshaposhnikova V.I., Polushenko I.G. Research of influence of the microwave oven of an electromagnetic field on hardness of a bond of the polymerous fibrous materials // Vestnik Saratov State Technical University. 2006. № 1 (11). Vyp. 2. P. 85-89.
18. Kudryashov Yu.B., Perov Yu.F., Rubin A.B. Radiating biophysics: radio-frequency and microwave electromagnetic radiations. M.: FIZMATLIT, 2008. 184 p.
19. Moskvitin N.I. Glueing of polymers. M.: Lesnaya promyshlennost', 1968. 304 p.
20. Pizhurin A.A., Rozenblit M.S. The researches of wood-working processes. M.: Lesnaya promyshlennost', 1984. 232 p.

УДК 621.762

DOI: 10.18324/2077-5415-2016-4-202-208

## Параметры гидрохимической и высокотемпературной технологии утилизации фторуглеродсодержащих отходов

В.А. Ершов

Иркутский национальный исследовательский технический университет, ул. Лермонтова 83, Иркутск, Россия  
ershov@istu.edu, ivansys@istu.edu

Статья поступила 12.10.2016, принята 21.11.2016

*В статье рассмотрена автоматизированная система управления технологическим процессом лабораторной установки переработки фторуглеродсодержащих отходов производства первичного алюминия. Разрабатываемая технология позволит понизить класс опасности этих отходов с получением товарного продукта (фтористый алюминий, сульфат натрия, регенерированный электролит и т. д.). Автоматизированная система управления технологическим процессом включает в себя оборудование лабораторной установки и работает совместно с системой автоматизации, поставляемой комплектно со следующим оборудованием: дробилка, стиратель, муфельная печь, флотомашина, репульпатор, вакуум-фильтр, сушильный шкаф. Представлены характеристика технологических операций и основные технологические параметры, контролируемые и управляемые системой управления лабораторной установки. Рассмотрен перечень входных аналоговых сигналов программируемого логического контроллера и основные требования к функционалу алгоритмов управления. Представлено техническое и программное обеспечение системы лабораторной установки. Оборудование автоматизированной системы управления технологическим процессом имеет модульную архитектуру, предусматривающую возможность расширения и развития функций процесса. Программное обеспечение лабораторной установки имеет гибкую структуру и легко адаптируется к изменениям характеристик технологического процесса, обеспечивает модификацию алгоритмов решения задач и наборов участвующих в них переменных, переконфигурирование схем регулирования и управления. Вывод управляющих воздействий, рассчитанных по законам регулирования, осуществляется через модули вывода аналоговых токовых сигналов. Вывод дискретных управляющих воздействий и блокировок для управления электрооборудованием выполняется через модули вывода дискретных сигналов. Рассмотрены основные управляющие и управляемые воздействия, которые необходимо регулировать и поддерживать в заданных пределах, чтобы получить конечный продукт с необходимыми качественными характеристиками. Имеющийся опыт эксплуатации показал, что автоматизированная система управления технологическим процессом лабораторной установки переработки фторуглеродсодержащих отходов обладает удобным интерфейсом, позволяющим персоналу постоянно иметь полную информацию о выполняемых операциях, проводить испытания каждой ее составляющей в условиях, приближенных к производственным, что подтверждает правильность технических решений, принятых при ее создании.*

**Ключевые слова:** автоматизация; отходы производства; алюминий; управление; технологический процесс.

## Parameters of hydrochemical and high temperature technology for recycling fluorine carbonaceous wastes

V.A. Ershov

Irkutsk National Research Technical University; 83 Lermontov St., Irkutsk, Russia

ershov@istu.edu, ivansys@istu.edu

Received .12.10.2016, accepted 21.11.2016

*The article describes the automated process control system of a laboratory unit, recycling carbon-fluorine production wastes of primary aluminum. The technology developed will reduce the hazard class of the wastes with producing a commercial product (aluminum fluoride, sodium sulfate, the regenerated electrolyte, etc.). Automated process control system covers laboratory equipment units and works in conjunction with the automatic control system, supplied completely with the following equipment: crusher, eraser, muffle furnace, flotation machines, repulper, vacuum cleaner, drying cabinet. Characteristics of technological operations are presented, as well as main technological parameters, controlled and managed by a laboratory unit of control system. A list of input analog signals of programmable logic controller and main requirements to the functional of control algorithms are considered. Hardware and software for a laboratory unit are presented. Equipment of the automated process control system has modular architecture, providing for the possibility of expansion and development functions. Software for a laboratory unit has a flexible structure, and is easily adapted to changes in the characteristics of the process, as well as provides a modification of algorithms for solving problems and participating in these sets of variables, reconfiguration control circuits and controllers. Output for control actions, calculated, according to the regulating laws, is via the analog output modules of current signals. Output of discrete control actions and locks to control the electrical output modules is done via digital signals. Main controllers and controlled actions are considered that need to be adjusted and maintained within the prescribed limits, to obtain a final product with the desired quality characteristics. Operating experience has shown that an automated control system of technological process of a laboratory unit on processing wastes has a convenient interface, allowing constantly to receive full information about operations, to test each of its component in the conditions close to production, which validate the technical solutions made when designing it.*

**Key words:** automation; production waste; aluminum; control; technological process.

### Введение

Для решения проблем в области утилизации отходов промышленного производства алюминия разрабатывается комплексная технология переработки фторуглеродсодержащих отходов.

Отходы алюминиевого производства относятся к 2-3 классу опасности, и их вывод на городские свалки является противозаконным [1–4]. К примеру, отработанная футеровка классифицируется как опасный техногенный продукт. Опасным его делают цианиды, содержание которых может достигать 0,2 вес.% от массы углеродной части футеровки и до 0,05 вес.% от массы огнеупорной части [5–7].

Складирование этих отходов осуществляется на шламовых полях, занимающих значительные площади. Размещение хранилищ многотоннажных отходов производства алюминия в черте крупных городов сибирского региона (Красноярск, Братск, Иркутск, Саяногорск и др.) создает серьезную угрозу населению и природным ресурсам [8–10].

На основании поисковых исследований предложена технология переработки фторуглеродсодержащих отходов с получением товарного продукта (фтористый алюминий, сульфат натрия, регенерированный электролит и т. д.) [11–17]. Обесфторенные углеродсодержащие материалы имеют высокую теплотворную способность при сгорании и могут быть использованы в виде тонкодисперсной пыли как эффективное самостоятельное топливо или как составная часть горючей смеси. При этом разрабатываемая технология позволит понизить класс опасности этих отходов.

Для уточнения технологических параметров и аппаратных схем разработана автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУТП)

лабораторной установки (ЛУ) переработки фторуглеродсодержащих отходов.

**Назначение системы.** В процессе разработки АСУТП ЛУ были определены основные цели:

- обеспечение безопасности технологического процесса;
- минимизация влияния человеческого фактора на процессы сбора и обработки информации о технологическом процессе;
- оптимизация ведения технологического процесса за счет использования развитых инструментов визуализации и анализа накопленной технологической информации;
- статистическое накопление данных о работе оборудования с целью оптимизации алгоритмов управления и уточнение контролируемых параметров;
- подбор технологических параметров и алгоритмов управления для обеспечения эффективности технологического процесса переработки отходов с целью дальнейшего тиражирования на опытно-промышленную установку;
- обеспечение удобного управления технологическим оборудованием контролируемых пунктов при проведении лабораторных работ.

АСУТП ЛУ охватывает оборудование лабораторной установки и работает совместно с системой автоматики, поставляемой комплектно со следующим оборудованием: дробилка, истиратель, муфельная печь, флотомашина, репульпатор, вакуум-фильтр, сушильный шкаф.

Система выполняет следующие функции:

- сбор оперативных данных о состоянии оборудования с фиксацией времени события;

- автоматизированное управление технологическим процессом с ведением механизма поддержания рабочих параметров в установленном технологическом регламенте;

- оперативное и полное предоставление информации персоналу;

- автоматическое отслеживание нештатных ситуаций, своевременное оповещение оперативного персонала и контроль его действий;

- обеспечение технологических защит, сигнализации об отклонениях в ведении технологического процесса;

- отключение технологических агрегатов при отклонении технологических параметров технологического процесса от установленных регламентом величин;

- оповещение технологического персонала об отклонениях параметров технологического процесса.

Устройства системы дополнительно обеспечивают:

- возможность построения распределенной системы сбора информации;

- возможность наращивания информационного объема о состоянии объектов при дальнейшем расширении системы;

- определение изменения состояния объектов с быстродействием не хуже 0,1 с;

- привязку по времени к меткам времени с точностью не хуже 1 с на уровне устройств ввода-вывода;

- первичную обработку информации и возможность настройки параметров обработки (фильтрация, дребезг контактов) на уровне устройств ввода-вывода;

- гибкое конфигурирование и настройку устройств;

- возможность оперативного изменения настроек (список сигналов, протокол передачи, скорость передачи) специалистами в ходе эксплуатации;

- регистрация всех событий, предусмотренных системой, в том числе действий персонала по работе с внедряемой АСУ.

- организация архивирования технологических данных на СУБД. Предоставление доступа к данным технологического процесса.

**Техническое и программное обеспечение.** Оборудование АСУТП ЛУ имеет модульную архитектуру, предусматривающую возможность расширения и развития функций процесса. Программное обеспечение АСУТП ЛУ имеет гибкую структуру, возможность легко адаптироваться к изменениям характеристик технологического процесса, обеспечивает модификацию алгоритмов решения задач и наборов участвующих в них переменных, переконфигурирование схем регулирования и управления.

В состав программного обеспечения системы входят следующие программные средства:

а) операционная система Microsoft Windows 2007;

б) СУБД Microsoft SQL Server;

в) пакет программирования ПЛИК Step 7 (v 5.5);

г) SCADA система WinCC.

Разработаны следующие программные модули, которые входят в состав ПО АСУТП:

а) «Диспетчеризация программ»:

- планирование запуска, выполнения процессов;

- контроль времени, генератор событий таймера;

- контроль определенных состояний процессов;

- выполняет внешние команды по расписанию;

- мониторинг текущего состояния процесса.

б) «Подсистема тревог»:

- обработка изменений данных, генерация события – тревоги;

- выполнение команд по условию тревог;

- сохраняет сообщения (уведомления) о возникновении тревоги.

в) «Коммуникационная подсистема»:

- ведение (обслуживание) очереди удаленных сообщений;

- обслуживание удаленных подключений к API;

- обслуживание удаленных подключений к БД;

- обслуживание удаленных подключений к системе тревог.

г) «База данных»:

- управление очередью и выполнение запросов к БД;

- обработка запросов по конфигурированию БД;

- восстанавливает образ БД в оперативной памяти при запуске;

- сохранение образа БД во вторичной памяти;

- сохранение ретроспективных данных;

- проверка (предупреждение) блокировки БД.

д) «База данных – серверы протоколов»:

- обеспечение выполнения SQL-запросов для доступа к БД;

- обеспечение доступа к БД по протоколу DDE (NetDDE);

- обеспечение доступа к БД по протоколу Profibus;

- обеспечение доступа к БД через OPC.

е) «Подсистема ввода/вывода»:

- управление параметрами опроса устройств СТМ.

ж) «Подсистема визуализации»:

- визуализация мнемосхем;

- визуализация графиков;

- визуализация отчетов;

- звуковое оповещение о возникновении тревоги;

- визуализация журнала тревог.

з) «Конфигурирование»:

- конфигурирование БД;

- создание шаблона отчета;

- создание динамических элементов мнемосхем;

- создание оконного интерфейса.

АСУТП ЛУ включает в себя следующие технические средства:

а) в качестве средств измерения температуры (печи) — преобразователи термоэлектрические платиновые с выходным сигналом 4–20 мА;

б) в качестве средств измерения влажности — промышленный датчик (преобразователь) влажности и температуры воздуха с выходным сигналом 4–20 мА;

в) в качестве средств измерения расхода воды — вихревой расходомер;

г) в качестве дозатора — шнековый дозатор;

д) в качестве средств измерения плотности раствора — плотномер для определения плотности Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>;

е) в качестве датчика концентрации — концентратомер для определения концентрации Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> в растворе;

ж) в качестве средств измерения расхода олеата натрия и соснового масла — перистальтические насосы;

з) в качестве средств измерения температуры (печи) — термоэлектрический преобразователь с чувствительным элементом КТМС;

и) в качестве средств измерения температуры (репульпатор) — термосопротивление с коммутационной головкой с выходным сигналом 4-20 мА;

к) в качестве датчиков уровня, установленных во флотомашине — погружной зонд LMK 306, предназначенный для непрерывного измерения уровня жидкостей, не агрессивных к нержавеющей стали;

л) в качестве исполнительных механизмов клапанов — клапан электромагнитный из нержавеющей стали;

м) для частотно-регулируемого привода — частотный преобразователь Danfoss;

н) в качестве управляющего контроллера используется ПЛК S7-1200 (Siemens), установленный в шкафу управления (ШУ).

Для реализации сбора и обработки информации в составе подсистем управления предусмотрены модули:

а) аналоговых унифицированных токовых сигналов диапазона 0–5 мА; 0–20 мА; 4–20 мА; 0–10 В;

б) дискретных потенциальных сигналов напряжения постоянного тока 24 В  $\pm 5\%$  при токе не менее 10 мА с гальваническим разделением цепей;

в) дискретных замыкающих типа сухой контакт, рассчитанных на напряжение постоянного тока 24 В  $\pm 5\%$  при токе не менее 10 мА;

г) дискретных замыкающих типа сухой контакт, рассчитанных на напряжение постоянного тока 220 В при токе не менее 5 мА;

д) разветвители сигналов с гальванической развязкой Seneca Z170REG.

Вывод управляющих воздействий, рассчитанных по законам регулирования, осуществляется через модули вывода аналоговых токовых сигналов. Вывод дискретных управляющих воздействий и блокировок для управления электрооборудованием выполняется через модули вывода дискретных сигналов.

Характеристика технологических операций представлена в табл. 1, основные технологические параметры, контролируемые и управляемые АСУТП ЛУ — в табл. 2.

Таблица 1

*Характеристика технологических операций*

Операция	Параметр	Величина
Дробление	Контроль выхода фракции — 20 мм	5 кг/час
Измельчение	Контроль выхода фракции — 74 мкм	5 кг/час
Подготовка пульпы для флотации	Дозирование олеата натрия Скорость перемешивания	100–200 г/кг 100 об/мин
Импеллерная флотомашина	Подача воды Сосновое масло Уровень пульпы Число оборотов импеллера	Ж:Т = 5:1 100–200 мг/кг 10 см от 500 об/мин
Вакуум-насос (сгущение)	Выход оборотной воды Обороты двигателя Выход сгущенного пенного продукта	5–7,5 дм <sup>3</sup> /час 750 об/мин 500 г/ч
Смеситель	Подача осушенного пенного продукта Дозирование сульфата алюминия Обороты двигателя	500 г/ч 700 г/ч 100 об/мин
Первичная сушка	Подача полученной смеси Температура	1 200 г/ч 550–600 °С
Стол охлаждения	Время Температура	30 мин не менее 80 °С
Репульпатор	Подача воды Температура Выход пульпы	Ж:Т = 10:1 80 °С 1,5 м <sup>3</sup> /час
Вакуум-насос	Слив раствора по плотности Выход раствора Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Выход кека AlF <sub>3</sub>	1–1,2 г/см <sup>3</sup> 1 кг/ч 500 г/ч
Выпарной аппарат	Температура Выход Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	110 °С 800 г/ч
Вторичная сушка	Температура Выход AlF <sub>3</sub>	не более 550 °С 400 г/ч

Параметры, контролируемые и управляемые системой

Наименование	Диапазон	Сигнал
Температура в сушильном аппарате, первичная сушка	-40...+1 100 °С	ДТПК
Температура в репульпаторе	-50...+180 °С	ДТС
Выпарной аппарат	-50...+180 °С	ДТС
Температура в сушильном аппарате, вторичная сушка	-40...+1 100 °С	ДТПК
Стол охлаждения	-50...+180 °С	ДТС
Температура в печи	+600...+1 600 °С	ТПР
Стол охлаждения	+600...+1 600 °С	ТПР
Спекание	-40...+1 100 °С	ДТПК
Стол охлаждения	+600...+1 600 °С	ТПР
Температура в сушильном аппарате	-40...+1 100 °С	ДТПК
Выпарной аппарат	-50...+180 °С	ДТС
Расход воды во флотомашине	5–25 дм <sup>3</sup>	4...20 mA
Расход пенного продукта на выходе из флотомашин	0,5 кг/ч	4...20 mA
Расход воды в репульпаторе	5–75 дм <sup>3</sup> /ч	4...20 mA
Расход маточного раствора из репульпатора	6 дм <sup>3</sup> /ч	4...20 mA
Расход выходного раствора Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> из вакуум-насоса	6 дм <sup>3</sup> /ч	4...20 mA
Уровень пульпы во флотомашине	10 см	4...20 mA
Измерение концентрации в вакуум-насосе	150 г/дм <sup>3</sup>	4...20 mA
Измерение концентрации в вакуум-насосе	150 г/дм <sup>3</sup>	4...20 mA
Дозирование олеата натрия в емкость смешивания	500–1000 мг/ч	4...20 mA
Дозирование соснового масла во флотомашину	500–1000 мг/ч	4...20 mA
Дозирование Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> в смеситель	700 г/ч	4...20 mA

**Функционал алгоритмов управления.** Перечень входных аналоговых сигналов программируемого логического контроллера представлен в табл. 3.

Основные требования к функционалу алгоритмов управления:

- опрос аналоговых датчиков должен происходить циклически, с частотой 100 мс;
- опрос дискретных сигналов должен происходить с максимальной частотой;
- значения с аналоговых датчиков должны быть приведены к действительным значениям измеряемых величин;
- автоматизированное управление процессом переработки огнеупорной футеровки и работой оборудования ЛУПОФ;
- автоматическое поддержание заданных параметров работы ЛУПОФ и их изменение по разработанным алгоритмам;
- контроль измеряемых параметров ЛУПОФ (температура, расход, уровень, концентрация, вибрация, токовая нагрузка двигателя);
- оценка состояния измерительных сигналов (выход за диапазон измерения);
- контроль временного интервала и длительности срабатывания исполнительных механизмов (заслонок, клапанов);

- автоматическое открытие клапана в случае повышения концентрации Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> более 1,2 г/см<sup>3</sup>;
  - автоматическое закрытие клапана в случае повышения уровня в емкости для воды;
  - автоматическая поэтапная остановка оборудования ЛУПОФ при возникновении аварийного режима;
  - автоматическое включение вентилятора при запуске выпарного аппарата;
  - дистанционное управление насосом;
  - управление производительностью секторного затвора в ручном и автоматическом режимах на основе задания значения производительности;
  - автоматическая остановка дробилки при увеличении температуры подшипников ходовой части более 70 °С с предварительной сигнализацией на операторской панели и на АРМ оператора — при достижении температуры 65 °С;
  - контроль исправности батареи источника бесперебойного питания;
  - контроль состояния двери шкафа управления;
  - автоматическое отключение дробилки при достижении на ходовой части значения вибрации 7,0 мм/с;
  - контроль тока электродвигателей;
- контроль исправности аналоговых каналов измерения (обрыв, короткое замыкание).

## Перечень входных аналоговых сигналов (тип сигнала 4–20 мА)

Тег параметра устройства	Описание	Ед. изм.	Предел измерения
F_WATER_FLOTATION	Расход воды из сети во флотомашину	м <sup>3</sup> /ч	1.2–1.4
F_WATER_FILTER	Расход воды из вакуум-фильтра	м <sup>3</sup> /ч	0.2–1.3
F_Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> _SM1	Расход сульфата алюминия в смеситель	м <sup>3</sup> /ч	1.4–1.5
F_FLOTATION REAGENT_FLOTATION	Расход флотореагента во флотомашину	г/кг	100–200
T_FURNACE_1	Температура, печь 1	°С	550–600
T_FURNACE_2	Температура спека 2	°С	75–80
T_FURNACE_3	Температура пульпы 3	°С	75–80
T_Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> _FURNACE	Температура раствора Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	°С	100–110
T_AIF <sub>3</sub> _FURNACE	Температура кека AIF <sub>3</sub>	°С	500–550
L_MATERIALS_RECEIVING HOPPER	Уровень сырья в ПБ	%	20–80
L_WATER_WATER TANK	Уровень воды в емкости	%	70–85
L_PULP_FLOTATION	Уровень пульпы во флотомашине	см	10
L_H_FILTER	Верхний уровень в вакуум-фильтре	%	90
L_L_FILTER	Нижний уровень в вакуум-фильтре	%	10
CONCENTRATION_Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Концентрация Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	г/л	150
D_FOAM_FILTER	Плотность раствора	г/м <sup>3</sup>	1–1,2
M_AIF <sub>3</sub> _FURNACE1	Влажность AIF <sub>3</sub>	%	▪ –3
M_Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> _FURNACE2	Влажность Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	%	2–3

**Заключение**

Разработанная АСУТП лабораторной установки позволит провести испытания каждой ее составляющей в условиях, приближенных к производственным, и подтвердить правильность технических решений, принятых при ее создании. Подбор и испытание технологических параметров и алгоритмов управления позволит обеспечить эффективность технологического процесса переработки с дальнейшим тиражированием на опытно-промышленную установку. Уже имеющийся опыт эксплуатации показал, что АСУТП ЛУ обладает удобным интерфейсом, позволяющим персоналу постоянно иметь полную информацию о состоянии лабораторной установки. Полученные результаты исследований будут использоваться для разработки комплексной аппаратурно-технологической схемы с учетом существующих алюминиевых заводов РФ.

*Исследования проведены при поддержке гранта президента Российской Федерации МК-8376.2016.5 «Исследования и разработка ресурсосберегающей экологически приемлемой технологии получения фтористых солей из фторсодержащих отходов алюминиевого производства».*

*Литература*

1. Соболев С.А., Ржечицкий Э.П., Козлова Л.С., Кондратьев В.В., Григорьев В.Г. Утилизация фторсодержащих отходов алюминиевых заводов путем внедрения технологии получения низкомодульного регенерационного криолита // Экология и промышленность России. 2009. № 5. С. 38–42.
2. Гринберг И.С., Рагозин А.В., Тенигин А.Ю. Охрана окружающей среды в производстве алюминия. СПб.: МАНЭБ, 2006. С. 144–145.
3. Куликов Б.П., Истомин С.П. Переработка отходов алюминиевого производства. СПб.: МАНЭБ, 2004. С. 477–478.

4. Ржечицкий Э.П., Кондратьев В.В., Шахрай С.Г. Сульфат натрия при производстве алюминия: проблемы и перспективы // Вестн. Иркут. гос. техн. ун-та. 2011. № 8. С. 148–154.

5. Ржечицкий Э.П., Кондратьев В.В. Экологическая и экономическая эффективность переработки растворов газочистки и фторуглеродсодержащих отходов производства алюминия // Экология и промышленность России. 2011 № 8. С. 28–31.

6. Афанасьев А.Д., Ржечицкий А.Э., Ржечицкий Э.П., Кондратьев В.В., Паньков С.Д., Иванов Н.А. Способ переработки твердых фторуглеродсодержащих отходов электролитического производства алюминия: пат. на изобретение: 2429198 Рос. Федерация. № 2010110626/05; заявл. 19.03.10; опубл. 20.09.11, Бюл. № 26.

7. Ржечицкий Э.П., Кондратьев В.В. Регенерация фтористых соединений на алюминиевых заводах // Вестн. Иркут. гос. техн. ун-та. 2011. № 2 (49). С. 158–163.

8. Кондратьев В.В., Афанасьев А.Д., Богданов Ю.В. Изучение термической регенерации фтора из угольной пены (отхода алюминиевого производства) // Цветные металлы. 2011. № 7. С. 36–38.

9. Шахрай С.Г., Кондратьев В.В., Белянин А.В. Энерго- и ресурсосбережение в производстве алюминия: моногр. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2014. 146 с.

10. Сысоев И.А. Управление и контроль энергорежима электролизеров для производства алюминия // Системы. Методы. Технологии. 2014 г. № 4. с. 99–102.

11. Сысоев И.А. Опыт управления энергетическим режимом электролизеров с обожженными анодами на силу тока 300 кА // Вестн. Иркут. гос. техн. ун-та. 2007. Т. 2, № 30. С. 23–26.

12. Ржечицкий Э.П., Кондратьев В.В., Тенигин А.Ю. Технологические решения по охране окружающей среды при производстве алюминия: моногр. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2013. 159 с.

13. Зельберг Б.И., Рагозин Л.В., Баранцев А.Г., Ясевич О.И., Григорьев В.Г. Баранов А.Н. Кондратьев В.В. Произ-

водство алюминия и сплавов на его основе: справочник металлурга. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2015. 764 с.

14. Ёлкин К.С., Карлина А.И., Иванчик Н.Н., Шахрай С.Г. Электрическая очистка газов производства кремния // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2015. Т. 1. С. 226-232.

15. Кондратьев В.В., Карлина А.И., Ершов В.А., Немаров А.А., Иванчик Н.Н. Управление технологическим процессом флотационной переработки пылевидных тонкодисперсных отходов кремниевого производства // *Металлургия: технологии, инновации, качество*: сб. науч. ст. М., 2015. С. 269-274.

16. Ястребов К.Л., Кондратьев В.В., Иванов Н.А., Дружинина Т.Я., Карлина А.И. Теория и практика прикладной гидроаэромеханики в обогащении полезных ископаемых и металлургии: моногр. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2015. 350 с.

17. Кондратьев В.В., Немчинова Н.В., Иванов Н.А., Ершов В.А., Сысоев И.А. Новые технологические решения по переработке отходов кремниевого и алюминиевого производств // *Металлург*. 2013. № 5. С. 92-95.

### References

1. Sobolev S.A., Rzhechitskii E.P., Kozlova L.S., Kondrat'ev V.V., Grigor'ev V.G. Recycling of Fluorine-Containing Waste Products from Aluminum Plants by Means of Introduction of the Technology of Low-Modular Regenerating Cryolite Manufacture // *Ekologia i promyshlennost Rossii (Ecology and Industry of Russia)*. 2009. № 5. P. 38-42.

2. Grinberg I.S., Ragozin A.V., Tenigin A.Yu. Environment protection in the production of aluminum. SPb.: MANEB, 2006. P. 144-145.

3. Kulikov B.P., Istomin S.P. Recycling of aluminum production. SPb.: MANEB, 2004. P. 477-478.

4. Rzhechitskii E.P., Kondrat'ev V.V., Shakhrai S.G. Sodium sulfate in aluminum production: problems and prospects // *Bulletin of Irkutsk State Technical University*. 2011. № 8. P. 148-154.

5. Rzhechitskii E.P., Kondrat'ev V.V. Environmental and Economic Efficiency of Processing Gas-Cleaning Solutions and Fluorocarbon-Containing Waste of Aluminum Production // *Ekologia i promyshlennost Rossii (Ecology and Industry of Russia)*. 2011. № 8. P. 28-31.

6. Afanas'ev A.D., Rzhechitskii A.E., Rzhechitskii E.P., Kondrat'ev V.V., Pan'kov S.D., Ivanov N.A. Method for processing solid fluorocarbon-containing waste of electrolytic aluminum

production: pat. na izobretenie: 2429198 Ros. Federatsiya. № 2010110626/05; zayavl. 19.03.10; opubl. 20.09.11, Byul. № 26.

7. Rzhechitskii E.P., Kondrat'ev V.V. Regeneration of fluoride compounds at aluminium plants // *Bulletin of Irkutsk State Technical University*. 2011. № 2 (49). P. 158-163.

8. Kondrat'ev V.V., Afanas'ev A.D., Bogdanov Yu.V. The study of thermal regeneration of fluoride from coal foam (waste of aluminum production) // *Non-ferrous Metals*. 2011. № 7. P. 36-38.

9. Shakhrai S.G., Kondrat'ev V.V., Belyanin A.V. Energy and resource saving in the production of aluminum: monogr. Irkutsk: Izd-vo IrGTU, 2014. 146 p.

10. Sysoev I.A. Power level management and control for electrolyzers in aluminium production // *Systems. Methods. Technologies*. 2014. № 4. P. 99-102.

11. Sysoev I.A. Experience in managing a power mode of electrolyzers with roasted anodes at 300 kA current // *Bulletin of Irkutsk State Technical University*. 2007. Т. 2, № 30. P. 23-26.

12. Rzhechitskii E.P., Kondrat'ev V.V., Tenigin A.Yu. Technological solutions for environmental protection in the production of aluminum: monogr. Irkutsk: Izd-vo IrGTU, 2013. 159 p.

13. Zel'berg B.I., Ragozin L.V., Barantsev A.G., Yasevich O.I., Grigor'ev V.G. Baranov A.N. Kondrat'ev V.V. Production of aluminum and its alloys: spravochnik metallurga. Irkutsk: Izd-vo IrGTU, 2015. 764 p.

14. Elkin K.S., Karlina A.I., Ivanchik N.N., Shakhrai S.G. Electric cleaning of silicon gas production // *Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona*. 2015. Т. 1. P. 226-232.

15. Kondrat'ev V.V., Karlina A.I., Ershov V.A., Nemarov A.A., Ivanchik N.N. Production control of floatation processing of dust-like fine waste of silicon production // *Metallurgiya: tekhnologii, innovatsii, kachestvo*: sb. nauch. st. M., 2015. P. 269-274.

16. Yastrebov K.L., Kondrat'ev V.V., Ivanov N.A., Druzhinina T.Ya., Karlina A.I. Theory and practice of application of hydroaeromechanics in mineral processing and metallurgy: monogr. Irkutsk: Izd-vo IrGTU, 2015. 350 p.

17. Kondrat'ev V.V., Nemchinova N.V., Ivanov N.A., Ershov V.A., Sysoev I.A. New technological solutions for wastes processing of silicon and aluminum production // *Metallurg*. 2013. № 5. P. 92-95.