

Автоматизированный стенд для исследования массообменных и гидродинамических процессов

Александр Соловьёв, Кирилл Яковлев

В работе рассматривается автоматизированный стенд для научных исследований, разработанный на основе ПЛК ADAM-5510EWK/TP. Материал статьи может быть полезен для решения задач управления в АСУ ТП на цеховом уровне.

ВВЕДЕНИЕ

Выбор стратегии управления химико-технологическими процессами (ХТП) зависит от большого числа факторов. Поэтому необходимо оценивать каждый ХТП и его отдельные операции с точки зрения их устойчивости к внешним воздействиям, которые могут существенно влиять на качество и количество выпускаемой продукции. В химической промышленности производятся сотни различных продуктов, причём для каждого используется своё оборудование. По сравнению с другими от-

раслями в химической промышленности мало идентичных ХТП, несмотря на то что такие процессы, как, например, экстракция, абсорбция, ректификация и другие, являются общими для многих ХТП.

Часто измерение ключевых параметров бывает весьма трудным и даже невозможным делом. Сложность химико-технологических и особенно гидрометаллургических процессов как объектов регулирования обусловлена инерционностью массообменных и тепловых аппаратов, нелинейностью статических

характеристик, наличием больших значений времени запаздывания. Кроме того, во многих случаях механизм массопередачи и гидродинамические закономерности в аппаратах не поддаются адекватному математическому описанию, которое необходимо для построения надёжных систем управления. Несмотря на многочисленные исследования в области теоретических основ химической технологии, ещё не разработана единая теория, позволяющая проводить достоверные инженерные расчёты как массообмена, так и гидродинамики гетерогенных систем. Поэтому приходится вначале проводить экспериментальные исследования на специально созданных пилотных установках, а затем на основании опытных данных строить математическую модель процесса и отрабатывать систему его автоматического управления. Однако такой подход, как правило, экономически не выгоден.

Проблему можно решить с наименьшими материальными и временными затратами, если у технологов и разработчиков АСУ ТП имеется в распоряжении установка, оснащённая многоцелевыми аппаратами и современными средствами контроля и автоматизации, позволяющими измерять основные технологические параметры и отлаживать схемы автоматического управления процессом в целом. Представленная работа посвящена именно такому решению описанной проблемы, реализуемо-



Рис. 1. Здание ИХТРЭМС



Рис. 2. Вибрационная колонна высотой 5 м и диаметром 110 мм

му на основе специально разработанного автоматизированного научно-исследовательского стенда (АНИС).

Разработка новых химических технологий, как правило, начинается с изучения равновесных зависимостей и кинетики процесса. На этом этапе исследований трудно осуществить непрерывный процесс, а без него нельзя получить достоверную информацию о режимных параметрах, которые являются основополагающими для промышленных процессов. АНИС позволяет устранить эту проблему благодаря возможности проводить эксперименты в непрерывном режиме на реальных физико-химических системах.

Располагая опытом по разработке автоматизированной системы сбора и обработки экспериментальных данных [1], в 1988 году на базе информационно-вычислительного комплекса ИВК-3 в Институте химии и технологии редких элементов и минерального сырья (ИХТРЭМС) им. И.В. Тананаева (рис. 1) Кольского научного центра РАН коллектив специалистов создал автоматизированную систему управления гидromеталлургическими процессами. Затем в 2006 году при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований перешли к разработке АНИС. Успешное решение поставленной задачи стало возможным благодаря появлению на российском рынке высокоточных измерительных преобразователей и соответствующих технических

средств создания локальных сетей. Базой для создания АНИС служила пилотная экстракционная установка [2]. К сожалению, кризис 2008 года не позволил в полной мере реализовать планы, однако удалось сохранить материальную часть установки, благодаря чему работа продолжается.

Состав и краткая характеристика АНИС

В состав исследовательского стенда входят следующие приборы и оборудование:

- программируемый логический контроллер ADAM-5510EWK/TP с набором различных модулей серий ADAM-5000 и ADAM-4000 фирмы Advantech;
- 4 массообменных вибрационных аппарата колонного типа (рис. 2) высотой от 1,5 до 5 м и диаметром от 55 до 150 мм (каждая колонна является многофункциональным аппаратом, что позволяет использовать один и тот же аппарат в различных химико-технологических процессах, например, в любом из них можно проводить эксперименты по абсорбции, экстракции, выщелачиванию и т.п.);
- 2 каскада экстракторов типа смеситель-отстойник для экстракционных процессов;
- оригинальные датчики и устройства для гидродинамических исследований;
- стандартные контрольно-измерительные приборы и преобразователи сигналов преимущественно отечественного производства;
- шестерённые и погружные насосы;
- насосы-дозаторы типа DLS-F и DLX-CC/M;
- регулирующие пневмо- и электроклапаны.

Все колонные аппараты изготовлены из стеклянных царг, что даёт возможность визуально наблюдать за процессом, происходящим внутри аппарата. Поскольку аппараты многофункциональны, появляется возможность создавать новые технологические схемы, в которых одновременно используются различные массообменные процессы. При этом отпадает необходимость в изготовлении новых аппаратов.

Три колонны оснащены электромеханическими виброприводами, одна – гидравлическим приводом. С помощью этих устройств подводится дополнительная энергия в аппараты с целью интенсификации процесса массопередачи. На рис. 3 показан автоматизированный

гидравлический вибропривод, представляющий собой генератор низкочастотных колебаний. В его состав входит активный элемент – гидроцилиндр, который является высокопотенциальным устройством. Это означает, что при небольших габаритах он может функционировать как на небольших аппаратах, так и на крупнотоннажных. Благодаря этому гидравлический вибропривод становится унифицированным звеном, способным без конструктивных изменений применяться на промышленных аппаратах различного масштаба.

Цели и задачи АНИС

Автоматизированный стенд создан с целью получения исходных данных для проектирования химических производств и разработки АСУ ТП на цеховом уровне. Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- создание действующей физической модели технологического процесса;
- запуск и отладка всех каналов контроля и управления массообменными и гидродинамическими процессами;
- сбор и обработка данных о ходе технологического процесса в реальном времени;
- проведение научных исследований по гидродинамике и массообмену химико-технологических процессов, разрабатываемых в ИХТРЭМС;
- отработка аварийных ситуаций;
- контроль состояния исполнительных механизмов;

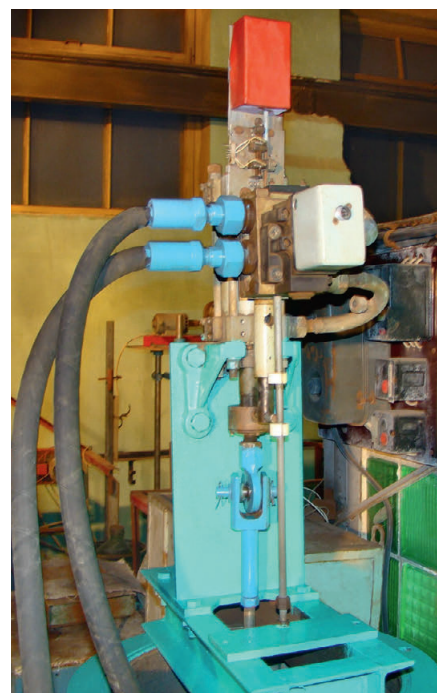


Рис. 3. Гидравлический вибропривод

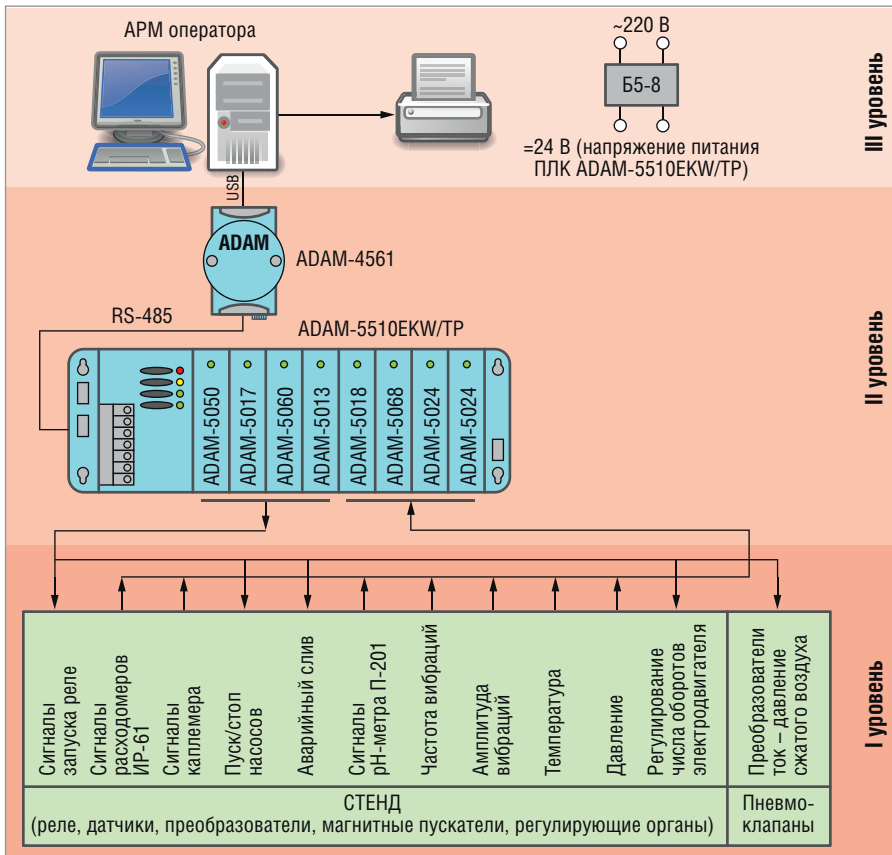


Рис. 4. Трёхуровневая структура АНИС

- разработка мнемосхем с возможностью выбора отдельного аппарата и

вывода его технологических параметров на экран монитора.

Необходимость проведения научных исследований по гидродинамике и мас-

сообмену на автоматизированном стенде обусловлена тем, что такие параметры, как поверхность контакта фаз, диаметр капель в системах жидкость—жидкость, коэффициенты обратного перемешивания и массоотдачи, предельно допустимые нагрузки и ряд других, нельзя определить ни расчётным путём, ни в лабораторных условиях. При наличии действующих технологических аппаратов, программного обеспечения (ПО), технических средств контроля и регулирования можно не только достаточно быстро определить величину перечисленных параметров, но и отладить АСУ ТП для вновь создаваемого химического производства.

АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ

При разработке АНИС за основу была принята трёхуровневая структура (рис. 4).

Первый уровень состоит из следующих датчиков, приборов, исполнительных механизмов и другого оборудования:

- термопары ХА, термометры сопротивления ТСМ, ТСП;
- сигнализаторы уровня МЭСУ-1ВУ2 и ротационные датчики уровня UWT

TDK-Lambda ПРОГРАММИРУЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ МОЩЬ И ИНТЕЛЛЕКТ



Серия ZUP

Применения ZUP и Genesys™

- Автоматическое испытательное оборудование
- Управление технологическими процессами
- Электротренировка полупроводниковых изделий
- Лазеры



Серия Genesys™

Серия ZUP (Zero-Up), Z+ (Z plus)

- Выходная мощность 200/400/800 Вт
- Встроенный интерфейс RS-232/485
- Универсальный вход 85–265 В переменного тока
- Выходные напряжения до 120 В, ток нагрузки до 132 А
- Программная калибровка
- Опциональные интерфейсы, LAN, GPIB и аналоговые сигналы с гальванической развязкой (для Z+)
- 16-разрядное разрешение и быстрый отклик на программируемые установки (для Z+)

Серия Genesys™

- Выходная мощность 750/1500/2400/3300/5000/10 000/15 000 Вт
- Встроенный интерфейс RS-232/485 (GPIB IEEE488/488.2 SCPI, LAN по заказу)
- Выходные напряжения до 600 В, ток нагрузки до 1000 А
- Конфигурирование посредством внешнего напряжения/тока и ПО
- Драйверы LabView и LabWindows
- Высота 1U, 2U и 3U

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР ПРОДУКЦИИ TDK-LAMBDA

PROSOFT®

Тел.: (495) 234-0636 • Факс: (495) 234-0640 • info@prosoft.ru • www.prosoft.ru



РЕКЛАМА

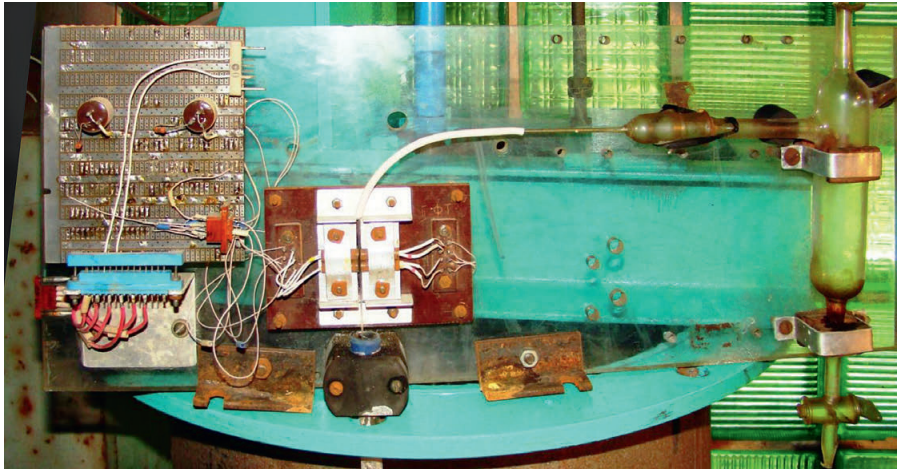


Рис. 5. Устройство для измерения межфазной поверхности

- Rotonivo с токовыми выходами 0–20 мА;
- ротаметры РЭВК-0,63Ж с токовым выходом 0–20 мА;
- манометры цифровые ДМ5002 с токовым выходом 4–20 мА;
- дифференциальный манометр ДМЭР с токовым выходом 0–5 мА;
- датчик рН магистральный ДМ-5М;
- ультразвуковой расходомер-счётчик кислоты US-800 с токовым выходом 4–20 мА;
- датчик положения границы раздела фаз (ГРФ) индукционного типа с выходным сигналом 0–10 Гн;
- измеритель диаметра капель и межфазной поверхности [3] (рис. 5);
- датчики для измерения амплитуды и частоты вибрации насадки (входят в состав гидравлического вибропривода);
- шаговые двигатели ДПУ-127 в комплекте с тахометрами;
- универсальные электродвигатели МУН-2, электродвигатели постоянного тока РИУТ 6-25/3А в комплекте с тахометрами;
- пневматические и электромеханические регулирующие органы (клапаны);
- насосы-дозаторы DLS-F и DLX-CC/M (рис. 6);
- реле уровня РУ-3Э;
- преобразователи сигналов, такие как
 - ПА-1 для тензорезисторных датчиков (выходной сигнал ± 1 В),
 - П-201 для чувствительных элементов, предназначенных для измерения рН (выходной сигнал 0–5 мА),
 - электропневматический ЭПП (входной сигнал 0–5 мА, выходной сигнал 20–100 кПа, или 0,2–1,0 кгс/см²),
 - электропневматический ЭП-Ех-Ор-3334 (входной сигнал 4–20 мА, выходной сигнал 20–100 кПа, или 0,2–1,0 кгс/см²),

– ИР-61 в комплекте с датчиком ПРИМ-25 (входной сигнал 0–5 мА).

Второй уровень предназначен для сбора и обработки данных, выдачи сигналов управления и связи с первым и третьим уровнями. Основой второго уровня является ПЛК ADAM-5510EWK/TP с набором многоканальных модулей ввода-вывода серии ADAM-5000, осуществляющих связь с устройствами и датчиками первого уровня. В состав ПЛК входят модули шести различных типов:



Одобрены для применения на море









- Длительный жизненный цикл продуктов
- Соответствие международному стандарту IEC 60945
- Степень защиты IP68
- Наличие изделий на складе
- Заказные разработки

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР КОМПАНИИ NSI



Тел.: (495) 234-0636 • info@prosoft.ru • www.prosoft.ru





Рис. 6. Насосы-дозаторы



Рис. 7. АРМ оператора

- модуль ADAM-5013 (принимает сигналы по трём каналам от термометров сопротивления TCM-1199);
- модуль ADAM-5017 входной 8-канальный (принимает токовые сигналы от преобразователей по 2 каналам и от датчиков уровня, давления и расхода по остальным 6 каналам);
- модуль ADAM-5018 (принимает сигналы от термопар ХА(К) по 7 каналам);
- два модуля ADAM-5024 (один модуль формирует на выходе три токовых сигнала 4–20 мА и сигнал 0–10 В, второй модуль – резервный);
- модули ADAM-5060 и ADAM-5068 (являются выходными релейными модулями, все каналы которых задействованы на пуск/стоп магнитных пускателей и насосов-дозаторов DLS-F и DLX-CC/M через промежуточные реле);
- модуль ADAM-5050 (является 16-канальным модулем дискретного ввода-вывода, в системе АНИС используется для контроля концевых выключателей гидропривода и управления следящими исполнительными механизмами).

Третий уровень, представляющий собой автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора (рис. 7), включает в свой состав:

- IBM PC совместимый стандартный компьютер (Pentium 4 2,4 ГГц, 1,48 Гбайт ОЗУ, жёсткий диск 300 Гбайт) с 32-разрядной операционной системой Windows XP;
- монитор Samsung Sync Master 795DE, принтер HP LaserJet 6L, блок питания Б5-8;

- модуль ADAM-4561 с последовательным интерфейсом RS-232/422/485, предназначенный для подсоединения ПЛК к компьютеру через интерфейс USB (для этого модуля не требуется никаких дополнительных IRQ или входных/выходных портов, ему не нужен внешний блок питания, так как питание берётся от порта USB, и, что весьма существенно, он управляет потоком данных для RS-485 автоматически).

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

При разработке ПО решались две задачи:

- 1) разработка пользовательского интерфейса для оператора АРМ, то есть для третьего (верхнего) уровня;
- 2) адаптация к современным устройствам связи с объектами (УСО) ранее разработанного ПО для УСО, входивших в систему КАМАК (САМАС).

Первая задача была успешно решена за счёт использования SCADA-системы Trase Mode версии 6.02. Для решения второй задачи необходимо было не только адаптировать старые пакеты программ, которые управляли гидроприводом и устройством измерения межфазной поверхности, но и внести некоторые изменения в конструкцию этих объектов. В конечном итоге вторая задача была также успешно решена.

Теперь ПО, кроме SCADA-системы, включает следующие программные блоки:

- блок управления колоннами высотой 4 и 5 м, диаметром 55 и 110 мм;
- блок управления реактором для систем газ–твёрдое;

- блок управления гидроприводом;
 - блок управления устройством для измерения поверхности массо-обмена.
- Такая структура ПО позволила разработать гибкую систему обмена данными между вторым и третьим уровнями и создать удобный пользовательский интерфейс.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Система АНИС продолжает совершенствоваться, однако уже сегодня она позволяет проводить эксперименты и получать информацию в реальном времени. При этом исследователь может наблюдать за ходом массообмена или за гидродинамической обстановкой в наиболее важных точках технологической цепочки по анимационным картинкам, на которых видно, как работают насосы, подаётся сырьё в аппарат или движутся взаимодействующие потоки. На рис. 8 показана мнемосхема технологического модуля, состоящего из трёх колонных аппаратов, на которых контролируются 23 наиболее интересных с исследовательской точки зрения параметра. Если аппараты включаются в работу, в них начинают перемещаться «потоки», что создаёт для экспериментатора благоприятные условия наблюдения за объектом. Любой аппарат или его часть можно выделить в виде мнемосхемы в более крупном масштабе. За динамикой каждого контролируемого параметра можно наблюдать в реальном времени на графике. Для этого оператору достаточно указать мышью тот значок на мнемосхеме, на котором отражается интересующая его физическая величина. Вся оцифрован-

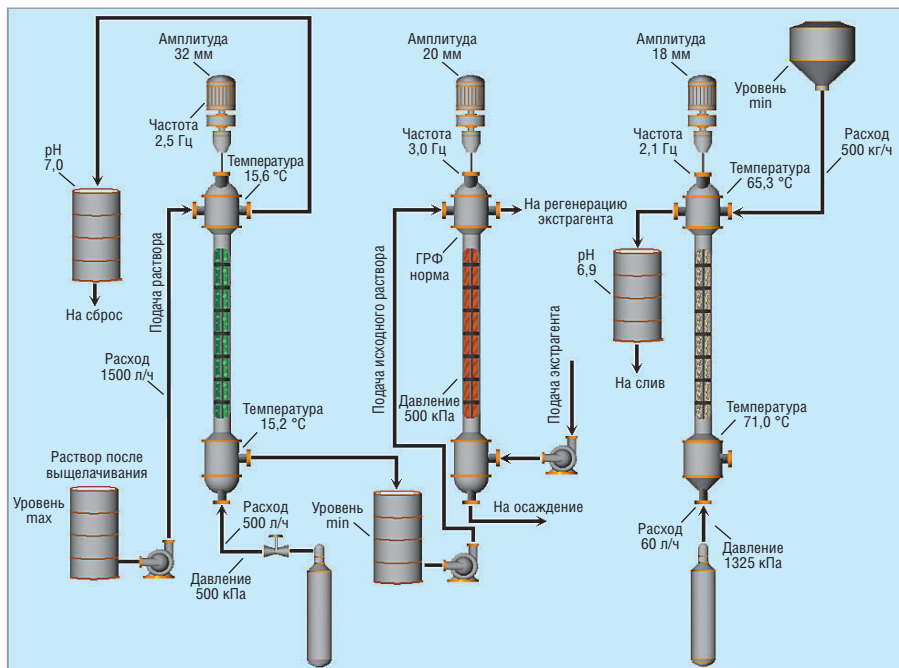


Рис. 8. Мнемосхема технологического модуля

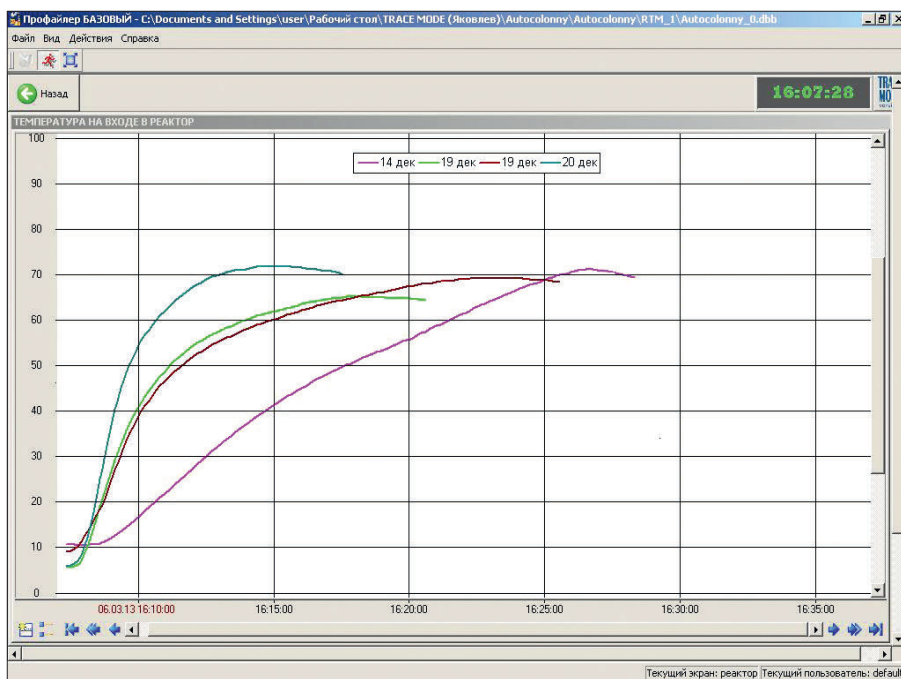


Рис. 9. Динамика температурного роста при различных условиях проведения процесса аммонизации

ная информация о ходе процесса помещается в архив в виде таблично-временных массивов. Благодаря этому можно графически сопоставлять результаты ранее проведённых экспериментов с текущими результатами.

На рис. 9 сопоставлены графики экспериментов, проведённых на реакторе при исследовании процесса аммонизации. Эксперименты ставились в разных условиях и в разное время, но каждый из них первоначально был зафиксирован на мониторе АРМ в реальном времени, то есть в период прохождения эксперимента, и сохранён в архиве. Оп-

тимальными оказались условия, при которых получен график с минимальным временем достижения максимальной температуры.

Используя возможности автоматизированного стенда, в течение последних трёх лет на базе АНИС были проведены исследования экстракционного процесса получения циркония из эвдиалитового концентрата. Затем был изучен процесс твердофазной аммонизации солей алюминия с целью получения катализаторов. На основании экспериментальных исследований подготовлены исходные данные для проектирова-

ния промышленных аппаратов. В обоих процессах приходилось использовать физико-химические системы жидкость—жидкость, газ—жидкость и газ—твёрдое. Для каждой из них необходимы аппараты с определённой спецификой. АНИС в полной мере справился с этой задачей, имея на вооружении всего 4 аппарата и сравнительно недорогие средства контроля и управления. Следует отметить, что и аппараты, и автоматика оказались надёжными блоками экспериментального стенда.

Анализируя результаты проведённых исследований, можно сделать следующие выводы:

- разработана методика подготовки исходных данных для проектирования промышленных массообменных аппаратов, лежащий в её основе метод базируется на определении основных гидродинамических и массообменных параметров экспериментальным путём на автоматизированном стенде;
- благодаря наличию в составе АНИС аппаратов многоцелевого применения имеется возможность проводить эксперименты на производственных растворах с различными физико-химическими системами;
- поскольку автоматика АНИС показала себя надёжной гибкой системой, легко поддающейся расширению, её можно рекомендовать в качестве АСУ ТП химических производств на цеховом уровне. ●

ЛИТЕРАТУРА

1. Соловьев А.В., Выгон В.Г. Автоматизированный комплекс для исследований массообмена и гидродинамики в экстракторах с насадками // Тез. докл. XI Российской конф. по экстракции. — М., 1988. — С. 196.
2. Соловьев А.В. Система автоматизированного управления экстракционной стадией гидрометаллургического производства // Сб. матер. I научно-практ. конф. «Новые подходы в химической технологии и практика применения процессов экстракции и сорбции». — Апатиты : Изд. КНЦ РАН, 2009. — С. 161–166.
3. Соловьев А.В., Хомченко О.А. Определение поверхности массообмена в гетерофазных системах жидкость—жидкость [Текст] // Исследования по физико-химическим основам технологии переработки минерального сырья. — Л. : Наука, 1983. — С. 123–128.

E-mail:
aleks.solovjev-2013@yandex.ru