ЛАБОРАТОРНЫЕ РЕАКТОРНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ РАБОТЫ ПРИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ И ДАВЛЕНИЯХ

УДК 542.07
БАК 02.00.10

Лермонтов А.С., к.х.н., ООО "Соктрейд Ко", asl@soctrade.com

На примере продукции компании Parr Instruments рассмотрены основные типы, особенности комплектации и принципы выбора лабораторного реакторного оборудования. Приведена информация по доступным вариантам реакторов, конструкционным материалам, вариантам обвязки, системам отбора проб под давлением и другим возможностям создания сложных систем под индивидуальные задачи пользователей на базе стандартных комплектаций.

Компания Parr Instruments – один из признанных лидеров рынка лабораторных реакторов – была основана в 1899 году профессором Самуэлем Вильсоном Парром (Samuel Wilson Parr) в Молине, штат Иллинойс (США). Целью компании были разработка и выпуск устройств для оценки теплотворной способности горючих материалов, в первую очередь угля. Данная проблема стояла довольно остро, поскольку теплотворная способность в начале прошлого века была основной характеристикой такого топлива. Через несколько лет компания разработала несколько конструкций калориметров, а бомба для сжигания в кислородной среде оказалась настолько удобной, что ее до сих пор называют бомбой Парра. Это устройство можно считать первым реактором, выпущенным компанией Parr Instruments (рис.1).

Рис.1. Бомба Парра – первый реактор, созданный компанией Parr Instruments

Впоследствии конструкция калориметров совершенствовалась, появлялись новые модели, оптимизированные для повышения скорости анализа, регистрации малых тепловыделений для определения теплоты растворения или, наоборот, для регистрации больших энергий, выделяющихся при окислении энергоемких веществ.

Большое внимание уделялось и проблеме коррозии, так как при окислении различных материалов выделяются коррозионно-активные вещества, а пользователи калориметров заинтересованы в долговечности приборов. Были созданы бомбы с повышенной устойчивостью к хлору и его соединениям, другим галогенам, а также минеральным кислотам, соединениям серы и т.п. Постепенно компания накопила достаточный опыт в изготовлении оборудования для работы при повышенной температуре и давлении с различными веществами и процессами и начала серийно выпускать лабораторные и полупромышленные химические реакторы (рис.2 и 3).

Для изучения и оптимизации химических процессов, разработки новых технологий химического синтеза и других задач химической индустрии требуется реакторное оборудование, способное воспроизводить и поддерживать и управлять температурой и давлением. Современный реактор снабжается различной по назначению оснасткой (рис.4) и представляет собой сложное оборудование, в котором используются высокотехнологичные материалы, в том числе прошедшие точную обработку металлы и сплавы, а также современная электроника.

ХИМИЧЕСКИЕ РЕАКТОРЫ

Лабораторные реакторные системы для работы без перемешивания при высоких температурах и давлениях (автоклавы) используются для ускорения различных реакций в закрытом объеме – кислотного разложения, твердофазных синтезов, вскрытия руд, выращивания металлоорганических каркасов, гидротермального синтеза, тестирования покрытий и коррозионной стойкости материалов и т.д. Как

правило, в такой реактор выполняется только первичная загрузка сырья без добавления дополнительных реагентов в ходе протекания реакций, поэтому на его крышке устанавливаются только манометр и разрывная мембрана.

При кажущейся простоте конструкции к качеству материалов реакторов даже такого типа предъявляются высокие требования, так как в большинстве случаев среда внутри них агрессивна не только по отношению к образцу или реагентам.

ВЫБОР МАТЕРИАЛА РЕАКТОРА

Основным материалом для изготовления реакторов является нержавеющая сталь Т316 или Т316L. Эта никель-хромовая сталь с добавками молибдена и марганца прекрасно подходит для работы с любыми органическими веществами, включая органические кислоты. Тем не менее большинство минеральных кислот при повышенной температуре и давлении вызывает ее коррозию. Например, значительно ускоряют коррозию данного материала соли хлора и хлорсодержащие кислоты. Также она не подходит для работы с высокими концентрациями щелочей под давлением, за исключением аммиака. Среди преимуществ Т316 – доступность на рынке, долговечность, простота механической обработки. В результате, около 80% лабораторных реакторов изготавливаются именно из этого материала.

Вторым по востребованности материалом является Hastelloy C-276 – сплав никеля (53%), молибдена (16%) и хрома с добавками марганца, вольфрама и кобальта. Данный сплав характеризуется очень высокой устойчивостью к соединениям хлора и сильным окислителям, таким как хлориды железа и меди. Он используется в сосудах для аналитического разложения галогенсодержащих соединений, в реакторах для каталитических процессов нефтепереработки и, с недавних пор, – для работы со сверхкритической водой, которая довольно быстро выводит из строя реакторы, выполненные из стали Т316.

Другие сплавы используются значительно реже из-за относительно высокой стоимости и трудности механической обработки. В их числе сплав 20 (Carpenter 20), способный выдерживать 30% серную кислоту. Никель-медные сплавы 400 и 600 технологичнее в механической обработке, но обладают худшей коррозионной стойкостью. Сплав 400 стоек к воздействию щелочей, фтора, фтороводорода и плавиковой кислоты, однако высокое содержание меди не позволяет использовать его для работы с азотной кислотой или аммиаком. Сплав 600 выдерживает щелочи и хлориды при высокой температуре в присутствии соединений серы, но высокая стоимость ограничивает его применимость. Чистый никель стоек к воздействию практически любых щелочей, но сложность механической обработки делает реакторы из него чрезвычайно дорогими.

Рис.2. Лабораторный реактор низкого давления с химически инертным стеклянным сосудом и мешалкой

Рис.3. Лабораторный реактор для работы при высоких температурах и давлениях. Слева – реакторный сосуд высокого давления

Рис.4. Стандартная головка реактора с магнитным приводом и другой оснасткой

Титановые реакторы чаще всего используются в гидрометаллургии для вскрытия руд. Титан выдерживает большинство минеральных кислот, включая царскую водку. Коррозионное воздействие на этот металл серной и соляной кислот сильно замедляется в присутствии окислителей, например азотной кислоты, действующей в качестве ингибитора. Данное свойство титана позволяет разлагать фактически любые руды. Тем не менее он может гореть в кислоте, и хотя создать условия для этого достаточно сложно, необходимо помнить о такой возможности при настройке реактора. Также титан обладает худшей прочностью, чем нержавеющие стали. К примеру, если реактор из ТЗ16 будет рассчитан на давление 350 атм., то аналогичный по конструкции титановый реактор выдержит лишь около 110 атм.

Рис.5. Предохранительный узел с разрывной мембраной для сброса критического давления

Среди других чистых материалов необходимо отметить тантал и цирконий, обладающие высокой устойчивостью к большинству химических веществ. Также могут применяться сплав 230, близкий по химической стойкости к сплаву 600, но способный выдерживать температуры свыше 500°C, и сплав 625, который обладает лучшими характеристиками при высокой температуре, чем Hastelloy C-276.

Для относительно низких температур и давлений можно использовать стойкий пластик (до 80 атм. и до 250°C), а также металлические реакторы со вставками из более дешевых материалов, если основные коррозионно-активные вещества, например выделяющиеся хлориды, обладают низкой летучестью.

При наличии сомнений в правильности выбора материала для того или иного процесса можно обратиться либо к производителю реакторов, обладающему достаточным опытом, либо самостоятельно изучить спецификации с зависимостями скорости коррозии от условий эксплуатации — температуры, давления и концентрации коррозионно-активных компонентов.

СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ

При использовании реакторов высокого давления необходимо следить за безопасностью. Помимо надлежащего выбора материала реактора, следует обратить внимание на средства защиты от превышения давления и температуры. Защита от перегрева в реакторах с автоматическим контролем температуры осуществляется путем установки ее предельного значения, после достижения которой система отключает электропитание. Для точного поддержания температуры реагентов управляющая термодатчик обычно располагается по центру реактора. Однако при некоторых процессах стенки реактора нагреваются значительно быстрее, чем вещество в самом реакторе. Это хорошо заметно при использовании тефлоновых вставок, защищающих стенки реактора. В этой ситуации существует опасность серьезного перегрева реактора и вставок. Чтобы предотвратить его, целесообразно предусмотреть дополнительные блоки с регистрирующей термодатчик, расположенной вблизи стенки.

Для защиты от превышения давления используются разрывные мембраны (рис.5) и предохранительные клапаны. Разрывная мембрана — это тонкий диск из максимально устойчивого к коррозии материала с известными прочностными характеристиками. Толщина мембраны рассчитывается в соответствии с давлением разрыва. Предохранительный клапан обычно содержит пружину, позволяющую выставлять максимально допустимое давление.

Разрывные мембраны надежнее, чем клапаны, так как они фактически гарантируют сброс давления в любой экстренной ситуации. Прочностные свойства мембраны обычно ухудшаются с годами использования, что повышает

чувствительность защиты. В предохранительных клапанах пружина может "закисать" со временем и не срабатывать. Поэтому их чаще используют как штатное средство сброса давления, а для защиты от критических ситуаций применяют разрывную мембрану.

СИСТЕМЫ НАГРЕВА

В реакторах высокого давления в 90–95% случаев применяют керамические нагреватели различной конструкции (рис.6а, б). Их мощность подбирается таким образом, чтобы ее было достаточно для нагрева до максимальной температуры.

Из-за достаточно большой толщины стенок реакторов высокого давления малого и среднего объема нагрев теплоносителем через рубашку используется редко, хотя он также возможен. Помимо этого, применяют микроволновые системы и нагрев в сушильных шкафах для автоклавов без перемешивания, а также различные варианты внутреннего нагрева/охлаждения с помощью термоэлементов.

Интересным вариантом устройства для регулирования температуры является алюминиевый блок с вваренными нагревателями и внутренними каналами для охлаждения. Такое устройство по своим функциям напоминает рубашку, обеспечивая достаточно быстрые нагрев и охлаждение, и при этом не нуждается в теплоносителе (рис.6в).

ГЕРМЕТИЗАЦИЯ УЗЛОВ И СОЕДИНЕНИЙ

Проблема герметизации емкостей под давлением заслуживает отдельного рассмотрения. Существуют три типа соединений: неразборные; разбирающиеся достаточно редко – к ним относится большинство соединений на головке реактора (подключения клапанов, манометра, мембраны и т.п.); соединения, которые разбираются постоянно, в первую очередь – крышка реактора. Второй тип соединений традиционно предусматривает контакт металл-металл и выполняется на основе трубной резьбы с применением металлических конических соединений. Это довольно быстро изнашиваемые при разборке/сборке соединения, но все-таки их можно время от времени аккуратно разобрать с применением динамометрических ключей. В целом можно рекомендовать продумывать оснастку реактора так, чтобы при изменении задач пользоваться не ключами, а просто переключать соответствующие клапаны.

Герметизация крепления крышки может выполняться плоскими прокладками из графита или ПТФЭ, кольцевыми прокладками из фторированных каучуков, а также металлическими прокладками для реакторов высокого давления (рис.7). Кольцевые прокладки более удобны, поскольку при их применении не нужна дополнительная прижимная сила. Получающееся безболтовое соединение часто применяется в реакторах, которые приходится открывать и закры-

Рис.6. Системы нагрева: а – трехзонная керамическая сплит-печь для трубчатого реактора; б – керамический нагреватель в изолированном металлическом корпусе для автоклавов; в – алюминиевый блочный нагреватель

вать достаточно часто. Крышка прижимается разделенным кольцевым зажимом на защелке, что, с одной стороны, позволяет быстро разбирать и собирать реактор, с другой стороны, при поддержании зажима в надлежащем состоянии, не допускает пережимов прокладки, продлевая срок ее службы. Недостатками кольцевых прокладок являются ограничение температуры нагрева (до 225°C в случае фторкаучука и до 300°C при использовании перфторкаучука) и высокая стоимость самих прокладок.

Для работы при более высоких температурах применяются плоские прокладки из тефлона (до 350°C) и гибкие плоские прокладки из графита (до 600°C). Такие прокладки довольно быстро изнашиваются при разборке реактора, но это компенсируется их низкой стоимостью. Дополнительная прижимная сила достигается за счет применения болтов, количество которых зависит от объема реактора и размера его крышки. Следует отметить, что производители обычно точно рассчитывают прижимную силу и регламентируют процедуру закручивания болтов на крышке. При точном следовании этим рекомендациям срок службы плоских прокладок удастся значительно продлить.

Металлические прокладки традиционно были единственными средствами герметизации, доступными для использования при температурах выше 350°C. Parr Instruments производит металлические прокладки

Рис.7. Герметизация соединений в реакторах: а – плоская прокладка из ПТФЭ; б – фторэластомерная прокладка круглого сечения; в – плоская гибкая графитовая прокладка; г – металлическая прокладка

с ромбическим поперечным сечением, которые предназначены в основном для узкоспециальных применений и обычно заменяются графитовыми.

Конструкции реакторов с плоскими и кольцевыми прокладками различны, поэтому перейти от одного типа прокладок к другим без модификации реактора невозможно.

КРЕПЛЕНИЕ РЕАКТОРА

В большинстве случаев для работы с реактором необходим надежный штатив, роль которого может выполнять настольная или напольная стойка или тележка, снабженная системой нагрева.

Используются два типа крепления реактора на штативе: система с неподвижной головкой и полностью съемный реактор. В первом случае при разборке реактора снимается только его стакан, а крышка и вся оснастка остаются неподвижными. Это достаточно удобно, если к крышке реактора подведены газовые линии и другие элементы обвязки, так как вся оснастка остается на крышке в неизменно неподвижном виде и не нужно выполнять отключение различных подводок. Следует добавить, что для разборки такой конструкции не требуются дополнительные зажимы, так как система герметизации крышки разбирается прямо на штативе. Для перемещения стаканов больших реакторов и печей используются пневматические подъемники.

Полностью съемный реактор демонтируется со штатива вместе с крышкой. Такой вариант обычно используют при минимальной оснастке или необходимости переноса реактора вместе с содержимым в место, где можно осуществить безопасную разборку, например, в случае его установки в помещении с повышенным классом опасности или, наоборот, если содержимое представляет опасность или слишком чувствительно к атмосфере помещения.

Еще одним вариантом является монтаж крупных реакторов со съемной крышкой на тележке. В некоторых случаях предусматривается лебедка для облегчения снятия крышки.

СИСТЕМЫ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ

Для проведения реакций в жидкой фазе на реакторы устанавливаются мешалки. Конструкции с сальниками в реакторах высокого давления в настоящее время уже практически полностью вытеснены системами с магнитным приводом (рис.8 а, б).

Если в малых реакторах с относительно тонкими стенками перемешивание можно обеспечить обычной лабораторной магнитной мешалкой с якорем, то в больших реакторах, в особенности при работе с высоковязкими жидкостями, применяется магнитный привод. Такой привод обеспечивает связь между двигателем и валом мешалки, сохраняя герметичность системы. В подавляющем большинстве случаев магнитный привод закрепляется на крышке реактора. Средний срок его службы без технического обслуживания составляет 5–10 тыс. ч.

Компания Parr Instruments выпускает несколько вариантов магнитных приводов на разные крутящие моменты с использованием различных постоянных магнитов. Так как все постоянные магниты обладают свойством размагничиваться при превышении температуры Кюри, магнитный привод для высокотемпературных реакторов снабжается собственной системой охлаждения в виде рубашки, не допускающей его перегрева.

Магнитные приводы могут также различаться по способу крепления вала мешалки. В более простых моделях для центровки вала служит специальная скоба, которая обычно устанавливается на карман термопары внутри реактора и удерживает вал во время вращения, предотвращая его биения. Также доступны самоцентрирующиеся варианты магнитных приводов, в которых нет необходимости в такой скобе.

Величину крутящего момента привода обычно подбирают, исходя из вязкостных свойств реакционной смеси при реакционной температуре. Часто вязкость сильно снижается при достижении температуры реакции, что

Научное и аналитическое оборудование для лабораторий

Более 20 лет компания СокТрейд поставляет лабораторное оборудование в химической и нефте-химической отраслях для лабораторий и производства

- Опытная команда специалистов
- Подбор и поставка оборудования
- Пусконаладка, гарантийное и послегарантийное обслуживание
- Аттестация и поверка оборудования

Реакторы любой сложности

Реакторные системы **Steroglass** предназначены для масштабирования и моделирования процессов в области химических, биотехнологических и фармацевтических исследований

Реакторные установки **Parr** используются в крупнейших лабораториях по всему миру уже более ста лет

Рис.8. Схема (а) и внешний вид (б) магнитного привода, а также варианты конструкций лопастей мешалки (в)

делает применение приводов с высоким крутящим моментом неоправданным, но в некоторых системах, например, при гомогенной полимеризации, они необходимы. Регулировка скорости перемешивания обеспечивается управлением скоростью вращения двигателя. Для повышения крутящего момента необходимо увеличивать мощность двигателя. Электронная система контроля скорости вращения мешалки обычно включает тахометр, ручку контроля и систему индикации числа оборотов. При резких изменениях вязкости в процессе реакции рекомендуется использовать систему обратной связи, обеспечивающую изменение крутящего момента, что позволит точно выдерживать заданное число оборотов мешалки.

В настоящее время создано большое число различных вариантов конструкций лопастей мешалки (рис.8в). Как правило, в реакторах используют обычные турбинные лопастные мешалки. Для эффективного перемешивания высоковязких жидкостей применяют якорные мешалки, которые могут дополняться гибкими скребками для соскабливания смеси со стенок. Спиральные и другие мешалки востребованы для моделирования различных процессов и обычно не рассматриваются пользователями, не занимающимися подобными задачами. Для равномерной подачи газа используются газозахватная мешалка и различные дефлекторы, позволяющие равномерно распределить пузырьки газа по всей реакционной смеси для максимального увеличения поверхности межфазного контакта. Большинство мешалок легко заменяются, что дает возможность быстро переходить от одного вида перемешивания к другому.

ВВОД И ОТБОР РЕАГЕНТОВ И ПРОДУКТОВ

Помимо магнитного привода, разрывной мембраны, манометра и кармана для термопары, на головке реактора с функцией перемешивания обычно расположены клапаны для ввода и вывода реагентов в ходе реакции. Газы и жидкости чаще всего вводят с помощью донной трубки, идущей от крышки реактора практически до его дна и позволяющей равномерно распределить реагент с помощью мешалки. Вывод газа обеспечивается клапаном в верхней части реактора, который может быть расположен на штоке манометра или в отдельном отверстии. Жидкофазные реагенты обычно вводят под давлением с помощью стандартных насосов, аналогичных применяющимся в высокоэффективной жидкостной хроматографии. Такие насосы обеспечивают точную дозировку жидкости под давлением и выдерживают воздействие большинства реактивов.

Газы в реактор обычно вводят передавливанием из баллона через донную трубку, на которой для удобства использования можно установить несколько клапанов. Подача газов во время реакции может представлять собой определенную проблему, так как на рынке представлено очень мало лабораторных устройств, способных дозировать газы под давлением, а давления в баллонах часто не хватает для стабильной работы даже при 100 атм. Для поддержания определенного давления внутри реактора используют ручной или автоматический клапан обратной регулировки.

Организация непрерывной подачи газа и контроля давления в реакторе обычно сильно повышает стоимость всей системы. Однако в случаях, если давление падает без выхода газа, например, в ходе гидрирования, контр-

оль давления можно организовать весьма экономичным образом с использованием одного контроллера массопереноса и системы обратной связи. Такой принцип позволяет создать небольшие системы параллельных реакторов (рис.9), в которых можно оптимизировать процессы гидрирования и другие реакции, сопровождающиеся поглощением газа. Еще одним вариантом решения является газовая бюретка, снабженная однонаправленным клапаном, которая может механически поднимать давление в реакторе, если оно падает ниже давления в бюретке. Подобные устройства доступны и для добавления жидкости в ходе реакции.

В некоторых случаях в реактор необходимо вводить под давлением твердые порошки – реагенты, катализаторы и т.п. Существуют варианты ввода с емкостью, открывающейся внутри реактора, аналогично раздавливанию стеклянной емкости давлением, которое использовалось ранее. Также порошки можно подавать вместе с жидкостью, подмешивая их в раствор. Чувствительные к атмосфере порошки вводятся с помощью устойчивой к давлению трубки с шаровым клапаном, через который вещество, находящееся в инертной атмосфере, попадает в реактор в нужный момент.

Для отбора жидкостей из реактора служат пробоотборники, которые подключаются к донной трубке и позволяют перевести часть вещества в пробоотборную часть объемом от 2 до 10 мл. Это достаточно простое устройство с тремя клапанами, позволяющими сначала продуть пробоотборник нужным газом, потом отобрать жидкую пробу, затем сбросить давление и слить жидкость под атмосферным давлением. Альтернативой ручному пробоотборнику являются автоматические системы, обеспечивающие регулярный отбор проб под давлением без вмешательства оператора. Также доступны устройства, имитирующие холодильник с приемной колбой на обычном стеклянном реакторе, которые устанавливаются на крышку и позволяют "отгонять" часть продукта в приемник.

ДРУГИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Среди доступных опций следует отметить различные варианты корзинок для засыпки порошкообразных материалов – катализаторов и реагентов. Корзинка может быть как неподвижной, так и закрепляться на мешалке, что обеспечивает лучший контакт жидких и газообразных реагентов с твердым порошком.

Для стакана реактора предусмотрена лишь одна стандартная модификация – установка донного клапана. Он достаточно удобен для полного слива жидких продуктов в конце синтеза после остывания реактора и сброса давления. Также такая конструкция позволяет полностью промыть реактор после синтеза, не разбирая его.

Рис.9. Система параллельных реакторов

Но во время работы реактора донный клапан нагревается до достаточно больших температур и действует как дополнительный радиатор, что, вкупе с давлением в реакторе, не позволяет использовать его для слива продукта в ходе реакции, а также значительно замедляет нагрев всей системы до высоких температур. Для слива жидких продуктов в ходе реакции рекомендуется использовать донную трубку с клапаном на крышке.

Рис.10. Трубчатый реактор непрерывного действия

ПРОТОЧНЫЕ ТРУБЧАТЫЕ РЕАКТОРЫ

Практически все наработки компании Parr Instruments для емкостных реакторов могут применяться для проточных трубчатых реакторов (рис.10), которые отличаются наличием крышек с двух сторон трубки. На крышках можно установить практически все виды входов и выходов, средств защиты и других устройств. Трубки реактора могут быть любой длины и любого стандартного диаметра. Установка стандартных крышек дает возможность организовать подачу реагентов и отбор продуктов как в верхней, так и в нижней частях реактора, с относительной простотой организации, например, процесса в псевдосжиженном слое. Применение гибких вариантов нагревателей на зажимах обеспечивает эффективный нагрев по всей длине трубки с возможностью разбиения на несколько зон нагрева. Для удерживания твердых веществ внутри реактора во время синтеза применяются спеченные мембранные фильтры. Как правило, трубчатый реактор требует развитой системы управления потоками газов и жидкостей, температурой и давлением, а также дополнительной обвязки в виде различных сепараторов, роль которых играют модифицированные стационарные реакторы. Система управления обычно включает аналого-цифровые преобразователи и программное обеспечение, позволяющее одновременно контролировать состояние всех узлов и потоков.

НЕСТАНДАРТНЫЕ КОМПЛЕКТАЦИИ

Нестандартные модификации реакторов, как правило, применяются для решения узкоспецифических задач

Рис.11. Нестандартная конфигурация реакторной системы под узкоспециальные задачи

Рис.12. Встроенное сапфировое окно для визуального контроля химического процесса

(рис.11). Например, в комплектацию могут входить специальные устройства для подвода электричества или вывода электрических сигналов из реактора, что применяется для тестирования специального оборудования в жестких условиях, при изучении процессов коррозии, а также для поджига находящегося в реакторе материала. Возможен и монтаж зондов различных типов для контроля того или иного параметра при решении научных и производственных задач. Еще одним вариантом модификации является установка окошек, позволяющих отслеживать состояние смеси внутри реактора при повышенных температуре и давлении. Такие окошки обычно изготавливаются из сапфира (рис.12). Их установка на стакан реактора требует модификации нагревателя. Нередко доработки касаются штатива и крепления реактора, например, можно организовать возможность переворота реактора или смены положения из вертикального в горизонтальное. Также доступно перемешивание встряской и другие опции.

***

В настоящее время создание реакторной системы, как правило, сводится к конструированию из готовых деталей и узлов, производство которых отработано годами. В большинстве случаев систему практически любой сложности удастся создать, не прибегая к проектированию новых деталей. Тем не менее пользователь системы должен хорошо понимать сущность проводимых процессов и возможности оборудования, чтобы обеспечить безопасную и долговечную службу реакторной установки. Также важно использовать проверенные надежные решения от ведущих разработчиков и производителей химических реакторов, в число которых входит Parr Instruments. ■

Основы реологии

А.Я. Малкин

2018 г., 336 стр., 165x235 мм. цветное издание

Цена 2400 руб.

В книге от ведущего реолога рассмотрены теоретические основы, экспериментальные данные и области применения результатов исследований в реологии. Каждая глава включает основные понятия, конкретные примеры, раскрывающие основные проблемы и задачи, и способы их решения. В отдельных главах обсуждены особенности реологии дисперсных систем и реология полимеров. Материал о реологических свойствах расплавов и растворов полимеров, нефти, крови, консистентных смазок, цемента, битумов, пищевых и косметических продуктов будет востребован специалистами профильных отраслей. В специальной главе подробно представлены инструментальные методы - ротационная реометрия, капиллярная вискозиметрия, вибрационные и рео-оптические методы, и др. Даны основы метода, описания приборов и рекомендации по выбору метода и прибора для решения конкретных задач. Более 100 вопросов и задач с решениями, наглядные цветные иллюстрации помогут специалистам на практике использовать полученные знания.

Неоценимым достоинством книги является доступность изложения материала.

Издание предназначено специалистам, исследователям, студентам изучающим реологию.

Высокоэффективный капиллярный электрофорез

Хенке Х. Лауэр, Герард П. Розинг (ред.)

Перевод 2-го англ. изд. (2014, *High Performance Capillary Electrophoresis*)

под ред. Лапина Б.П.

2019 г., 240 стр., 165x235 мм.

Цена 1200 руб.

В обновленном издании приведены основы метода, режимы работы установок и оборудование ВЭКЭ (HPCE). Подробно рассмотрены методы ВЭКЭ - капиллярный зональный электрофорез CZE, мицеллярная электрокинетическая хроматография МЭКХ, капиллярная электрохроматография СЕС, система СЕ-МС и др. Освещены вопросы разделения для более эффективного внедрения методов в практику лабораторий. Особое внимание уделено применению метода в фармацевтическом анализе и других областях.

Издание хорошо иллюстрировано, содержит практические рекомендации по выбору оборудования и приборов, и послужит хорошим обучающим пособием для специалистов лабораторий.

ИСО/МЭК 17025 : 2017 Практические рекомендации по применению

И.В. Болдырев

2018 г., 128 стр., 165x235 мм.

Цена 1300 руб.

В обновленном стандарте ИСО/МЭК 17025:2017 отражены все изменения с 2005 года для линейки стандартов 17000: новая структура, новые утвержденные понятия, такие как «метрологическая прослеживаемость», «валидация» «верификация», «лабораторная деятельность» и др., новые требования к процессам лабораторной деятельности, новая отчетность. Особо нужно выделить большие изменения в требованиях к процедурам системы менеджмента, включая введение новой процедуры управления рисками и возможностями.

Практические рекомендации и развернутые комментарии от ведущего специалиста по аккредитации позволят лабораториям модернизировать свои системы менеджмента с учетом требований ИСО/МЭК 17025:2017, сохраняя высокие компетенции в вопросах обеспечения качества, методах отбора, проверки, неопределенности измерений, калибровки оборудования и приборов.

Книга предназначена для руководителей и специалистов всех аналитических лабораторий, испытательных центров, экспертов органов надзора и аккредитаций.