



АВТОКЛА́В

Авторы: Т. Г. Гаспарян

АВТОКЛА́В (от *авто...* и лат. *clavis* – запор, задвижка), герметичный аппарат, предназначенный для осуществления разнообразных процессов (обработки продукции, сырья, изделий и др.) при нагревании и под давлением, превышающим атмосферное. В зависимости от сферы применения и назначения автоклавы различаются по конструкции, оборудованию, ёмкости аппарата, созданию температурного режима. Производятся самые разнообразные модели автоклавов для различных отраслей промышленности, однако по основным принципам функционирования они мало чем отличаются друг от друга.

Принцип работы

В автоклаве для повышения температуры и создания давления используется водяная среда, которой заполняется межстенное пространство (водопаровая камера). После выбора технологического (рабочего) цикла в рабочей камере автоклава создаётся предварительный фракционированный с периодическим прогревом вакуум, т. е. происходит эффективное удаление воздуха и конденсата в рабочей камере. При нагревании водяной пар поступает в камеру, повышая в ней давление и температуру в соответствии с заданными параметрами, и начинается фаза стерилизации. Повышенное давление в автоклаве компенсирует температурное расширение продукта. Такие условия позволяют ускорить реакцию, а также увеличить выход продукта. По окончании стерилизационной выдержки в камере автоклава сбрасывается давление и начинается этап вакуумной пульсирующей сушки изделий, а оставшаяся влага мгновенно испаряется при высокой температуре и отрицательном давлении.

В зависимости от характера работы автоклавы снабжаются внутренними, наружными или выносными теплообменниками, механическими, электромагнитными либо пневматическими перемешивающими устройствами, различными приборами для контроля режима температуры, давления, уровня жидкости и регулирования параметров. В промышленности используют автоклавы с водяным (вода в системе циркулирует при помощи насоса) и воздушным (остужение происходит при помощи струи холодного потока воздуха) охлаждением.

Управление циклом стерилизации, а также отображение параметров цикла осуществляется с помощью интерактивного электронного сенсорного экрана, расположенного на лицевой панели автоклава. С помощью расположенных на панели элементов управления (кнопки, плавные регуляторы и т. п.) оператор осуществляет выбор цикла, настройку параметров, а также имеет возможность переводить автоклав в режим ожидания.

Конструкция автоклава

Современные промышленные автоклавы являются сложными высокотехнологичными аппаратами, обладающими большой производительностью. По конструкции автоклавы бывают вертикальные, горизонтальные, вращающиеся, качающиеся и колонные. Автоклав имеет вид сосуда (камеры, цилиндра),

который на время работы закрывается специально подогнанными сферичными крышками, обеспечивающими его полную герметичность, т. к. в нём происходит нагрев продукта под давлением до высоких температур.

В вертикальных автоклавах (характеризуются компактной конструкцией) водяная среда нагревается в основном при помощи специальных трубчатых электрических нагревателей (тэнов), расположенных внутри нижней части камеры автоклава. Такие автоклавы получили широкое распространение для использования в лабораторных условиях. В горизонтальных автоклавах (рис.) чаще используется газовый обогрев, который характеризуется минимальным временем нагрева и большей гибкостью эксплуатации. Такие автоклавы применяются, как правило, в промышленности для обработки композитных материалов. Это лучший вариант классического автоклава, так как имеет простой монтаж, занимает небольшую площадь и не требует системы диатермического обогрева. Кроме этого, расходы на процесс термической обработки изделия у такого автоклава значительно ниже, чем при использовании электрического автоклава. Существуют модели горизонтального автоклава и со спиральным теплообменником, которые являются примером энергосберегающих технологий. Спиральный теплообменник позволяет работать с любым изделием, однако его стоимость значительно выше газового, кроме этого, он имеет и длительный срок окупаемости. Вращающиеся автоклавы применяют для работы с суспензированными (суспензированными, взвешенными) твёрдыми или кашицеобразными веществами (для выщелачивания минеральных концентратов разнообразных металлов и руд). Автоклав имеет вид герметичного сосуда со съёмной крышкой, которая прикреплена к корпусу при помощи уплотнительной прокладки и шпилек. Снаружи крышки монтируется запорный кран с многослойным фильтром. Качающиеся автоклавы позволяют выполнять перемешивание веществ в таких упаковках, для которых стерилизация в обычных автоклавах считается неприемлемой. Колонные автоклавы обычно используются для создания глинозёма из бокситов (позволяют снизить трудовые и временные затраты в процессе их получения).

Автоклавы изготовляют из высококачественных сталей, алюминия и других металлов, которые нередко покрывают химически стойкими материалами (эмалью, фторопластами). Корпус конструируют методом сваривания или склёпывания звеньев с выпуклыми днищами. В корпусе делают специальные отверстия (крышки), через которые удобно загружать материалы. Пар подаётся к перфорированной трубе через штуцер, а конденсат удаляется через спускной клапан. В электрических автоклавах система подачи нагретого пара отделена от рабочей камеры. Пар подаётся в камеру через патрубок от котелка, снабжённого электронагревательным элементом с регулятором степени нагрева. Чтобы избежать больших тепловых потерь, внешние поверхности автоклава покрыты тепловой изоляцией, что способствует интенсификации технологического процесса.

Конструкция и основные параметры промышленного автоклава разнообразны: ёмкость от нескольких десятков кубических сантиметров до кубометров; предназначаются для работы под давлением до 150 МПа (1500 кгс/см²) при температуре до 500 °С. Как правило, современные промышленные автоклавы в диаметре составляют от 1,2 м до 7,6 м, в длину – от 1,9 м до 40 м. При проведении в автоклаве физико-химических процессов используются давления до 300 МПа и температуры до нескольких тысяч градусов.

Применение автоклавов

Автоклавы применяют для научных исследований (лабораторные автоклавы), в медицине, биологии, металлургии, химической, резиновой, пищевой промышленности, при производстве стройматериалов.

Основная часть автоклавов, используемых в медицине и биологии, – герметически закрывающийся резервуар с двойными стенками, выдерживающими высокое давление. Если процесс стерилизации осуществляется без воздействия высокого давления, то используют термин стерилизатор либо сушильный шкаф. Медицинские автоклавы применяют для стерилизации хирургического перевязочного материала и инструментов, посуды и некоторых приборов для выращивания микроорганизмов, обеззараживания инфицированного материала, уничтожения культур болезнетворных микроорганизмов, при создании изделий из карбонового волокна, для придания им твёрдых форм и т. п. В межстенное пространство (водопаровая камера) заливается дистиллированная вода. При нагревании водяной пар поступает в стерилизационную камеру, повышая в ней давление и температуру (выше 100 °С).

В металлургии (гидрометаллургии, см. также [Автоклавное выщелачивание](#)) с помощью автоклавов выполняется очистка растворов металлов от примесей и процесс восстановления драгоценных и редкоземельных металлов после выщелачивания из подготовленных растворов. Объём аппарата может изменяться от десятков кубических миллиметров (лабораторные импульсные автоклавы) до нескольких сотен кубометров (горизонтальные автоклавы для окисления Ni-концентратов). Для агрессивных жидкостей используют автоклавы из нержавеющей стали, а также аппараты, футерованные коррозионно- и термостойкими покрытиями или плитками. Используют цилиндрические или сферические автоклавы, работающие при 260 °С и давлении 6 МПа, и автоклавные установки типа «труба в трубе» (во внешнюю трубу подают теплоноситель, во внутреннюю – нагреваемую смесь), работающие при температуре менее 300 °С.

В химической промышленности автоклавы применяются при производстве гербицидов, органических полупродуктов и красителей, в процессах синтеза. Для проведения разнообразных химических реакций данный аппарат называют химическим реактором. В случае необходимости перемешивания продукта используются автоклавы с бессальниковыми мешалками и экранированным электродвигателем, не требующим уплотнения.

В резиновой промышленности автоклавы используются для вулканизации или отверждения многих резиновых или пластиковых изделий.

В пищевой промышленности автоклавы применяются для стерилизации, пастеризации продуктов (в т. ч. консервов), приготовления пищи и др. Используются вертикальные и горизонтальные автоклавы широкого спектра разновидностей, размеров и принципов действия. Например, в горизонтальных автоклавах для пищевой промышленности может создаваться необходимое противодействие по отношению к каждой отдельно взятой упаковке с продуктом, что позволяет проводить стерилизацию продуктов не только в жёсткой таре (стеклянная, железная), но и в мягкой и полужёсткой упаковке.

Производство строительных материалов, в частности силикатных, базируется на гидротермальном синтезе гидросиликатов кальция, который осуществляется в реакторе-автоклаве в среде насыщенного водяного пара с давлением 0,8–3 МПа и температурой 175–200 °С. В данном производстве большой объём работ составляет процесс получения извести для сырьевой смеси. В технологический процесс производства извести входят следующие операции: добыча известкового камня в карьерах, дробление и сортировка его по фракциям, обжиг в шахтных вращающихся и других печах, дробление или помол комовой извести (получение негашёной извести). Получение сырьевой смеси осуществляется двумя способами: барабанным и силосным, которые отличаются друг от друга приготовлением известково-песчаной смеси.

В наши дни почти все элементы зданий и сооружений (панели, плиты перекрытий, элементы лестниц и др.) могут быть изготовлены из армированного силикатного бетона, который по своим свойствам почти не уступает железобетонным, а благодаря применению местных сырьевых материалов и промышленных отходов обходится на 15–20% дешевле, чем аналогичные железобетонные элементы на портландцементе. На современных автоклавных установках изготавливают газобетон и пенобетон. Их широко применяют в строительстве коммерческих и жилых зданий разного назначения и этажности. Газобетон и пенобетон могут быть применены как для несущей конструкции, так и для межкомнатных перегородок и в качестве перемычек. Автоклавный метод изготовления газобетона и пенобетона является основным, так как в автоклаве создаются оптимальные условия для твердения смеси, а использование управляемого автоклавного процесса позволяет получить газобетон и пенобетон с заданными техническими характеристиками.

Так же изготавливают ячеистый бетон, силикатные блоки и панели, облицовочные, теплоизоляционные материалы и другие изделия. Автоклавы используются для изготовления плёночного триплекса. При использовании автоклавной технологии обеспечиваются улучшенные оптические характеристики стекла, повышается его влагостойкость и т. п. При производстве триплекса применяют туннельные или тупиковые автоклавы. Внешне они представляют собой трубу 3–6 м в диаметре и 15–20 м в длину, закрываемую крышкой с байонетными затворами (тупиковыми с одной стороны, туннельными с двух сторон). Вдоль по длине автоклава расположены рельсы для вагонеток с изделиями. Автоклавы оборудованы магистралями для впуска насыщенного пара, перепуска отработанного пара в другой автоклав, выпуска пара в атмосферу или в утилизатор и для конденсатоотвода.

Историческая справка

Прообразом современного автоклава был созданный Д. Папеном в 1680 медицинский аппарат для стерилизации (она проводилась при высокой температуре, но без давления выше атмосферного), т. н. стерилизатор или сушильный шкаф. В 1795 французский кондитер Ф. Аппер изобрёл способ сохранять съестные припасы. Он упаковывал продукты в специальную ёмкость и подвергал их кипению в обычной воде; таким образом получился первый автоклав для домашнего (бытового) применения. В 1879 француз Ш. Шамберлен создал уже настоящий автоклав, в котором создавалось нужное давление при повышении температурного режима. Изобретение получило распространение исключительно среди учёных-химиков и медиков, перед которыми остро стоял вопрос о стерилизации инструментов.

Прототипом современного автоклава, применяемого в химической технологии, является аппарат, созданный В. Н. [Ипатьевым](#) в 1904. В строительстве способ изготовления силикатного (известково-песчаного) кирпича в автоклаве изобретён в Германии в 1880 учёным В. Михаэлисом. В России автоклавные устройства для производства известково-песчаных блоков, фибролита, облицовочных плит появились в 1930-х гг. До 1950-х гг. единственным видом силикатных автоклавных изделий были силикатный кирпич и небольшие камни из ячеистого силикатного бетона. Однако благодаря работам российских учёных впервые в мире было создано производство крупногабаритных силикатобетонных автоклавных изделий для сборного строительства. Возможность образования в автоклаве камневидного изделия была установлена в конце 19 в., но массовое производство силикатных изделий, деталей и конструкций, особенно типа бетонов, было впервые организовано в нашей стране. Технология их изготовления механизирована и в значительной мере автоматизирована, что

обеспечивает получение более дешёвой продукции по сравнению с цементными материалами и изделиями. Эффективные исследования в этом направлении выполнили П. И. Боженков, А. В. Волженский, П. П. Будников, Ю. М. Бутт и др. Было показано, что при автоклавной обработке образуются наиболее устойчивые низкоосновные гидросиликаты.

В 1953 компания «Lagarde» разработала автоклав для применения в текстильной промышленности (с его помощью красили ткани). В 1988 появился автоклав для домашнего консервирования, который работал при помощи подключения в домашнюю электрическую сеть.