

DOI: 10.24143/1812-9498-2021-1-29-35
УДК 678.0.58.2:681.518.001.33.002.2

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО АВТОКЛАВА

Э. В. Тлепов, Н. Г. Романенко, С. В. Головки

*Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Российская Федерация*

Рассмотрены вопросы повышения экономичности энергоресурсов, затрачиваемых для работы горизонтального промышленного автоклава, а также повышения качества стерилизуемой продукции и способы уменьшения брака в выпускаемой продукции. Проанализированы проблемы автоматизации систем управления, выявлены недостатки систем автоматического управления технологическим процессом стерилизации консервов. Описана иерархическая структура системы управления автоклавом. Указаны основные блокировки при падении давления в магистралях подачи воздуха, воды и пара. Приведено подробное описание структуры градирни, рассмотрен принцип охлаждения оборотной воды и ее подачи потребителю. В рамках решения задачи повышения экономичности энергоресурсов и исходя из технических характеристик, пропускной способности и коэффициента теплопередачи предложено использование пластинчатого теплообменного аппарата. Описан принцип его работы, в основе которого – нагрев поступающей воды до заданной температуры и ее охлаждение в конце цикла стерилизации. Совместное использование градирни и теплообменного аппарата способствует значительному сокращению затрат на энергоресурсы, т. к. вода, используемая в процессе стерилизации, не будет сливаться в общую канализацию по окончании процесса, а будет охлаждаться в градирне и подаваться вновь для охлаждения автоклавов. При этом при нагреве острый пар не будет поступать напрямую в автоклав, а будет подаваться в теплообменный аппарат для нагрева оборотной воды, что в значительной мере снизит перегрев стерилизуемой продукции.

Ключевые слова: автоклав, градирня, теплообменный аппарат, система управления, качество продукции, стерилизация, экономия.

Для цитирования: Тлепов Э. В., Романенко Н. Г., Головки С. В. Модернизация промышленного горизонтального автоклава // Вестник Астраханского государственного технического университета. 2021. № 1 (71). С. 29–35. DOI: 10.24143/1812-9498-2021-1-29-35.

Введение

Современный этап развития автоматизации технологических процессов характеризуется усложнением задач автоматического регулирования и управления, значительным увеличением числа регулируемых параметров, совершенствованием разработанных и созданием новых функциональных элементов систем непрерывного и дискретного действия, а также повышением точности регулирования на основе применения средств микропроцессорной техники.

Консервы являются стратегическим продуктом питания, от их качества зависит продовольственная безопасность страны в чрезвычайных ситуациях [1].

Одним из основных процессов обработки сырья в пищевой промышленности является термическая обработка продукта (стерилизация и пастеризация), которая достаточно энергоемка. Внедрение систем автоматического управления в работу производственных процессов позволяет обеспечивать, в первую очередь, безопасность на производстве и, во-вторых, существенно сокращать затраты на потребляемую энергию (пар, вода, электроэнергия и т. д.).

Объектом модернизации является горизонтальный автоклав. Суть проблемы состоит в том, что при стерилизации продукции нагрев осуществляется острым паром, подающимся непосредственно в автоклав, что вызывает в некоторых случаях перегрев продукции. Также вода, используемая в процессе автоклавирования, на этапе охлаждения сливается в канализацию, и происходит новый забор воды, что является очень энергозатратным процессом.

Предлагаемая система управления автоклавом с внедрением градирни в работу приведет к повышению экономичности и эффективности работы, а также улучшению качества стерилизуемой продукции. Также предлагается использовать теплообменный аппарат с целью нагрева и охлаждения рабочей жидкости. Использование градирни при работе автоклава позволит в значительной мере сократить объемы используемых энергоресурсов, затрачиваемых для охлаждения автоклава.

Анализ проблемы энергоэффективности работы оборудования и повышения качества продукции

Анализ работы и описание технологического процесса функционирования оборудования. Промышленный горизонтальный автоклав периодического действия является универсальным стерилизационным аппаратом, который позволяет осуществлять стерилизацию консервов в жестяной, стеклянной или полимерной таре любых размеров под атмосферным или избыточным давлением с использованием в качестве теплоносителя пара или паровоздушной смеси [2]. Автоклав представляет собой крупногабаритное оборудование с большим количеством нагретой до высокой температуры (до 120 °С) воды под давлением до 4 кгс/см², нагреваемой острым паром, что обуславливает наличие вредных, опасных и аварийных факторов. Принципиальная схема горизонтального автоклава показана на рис. 1.

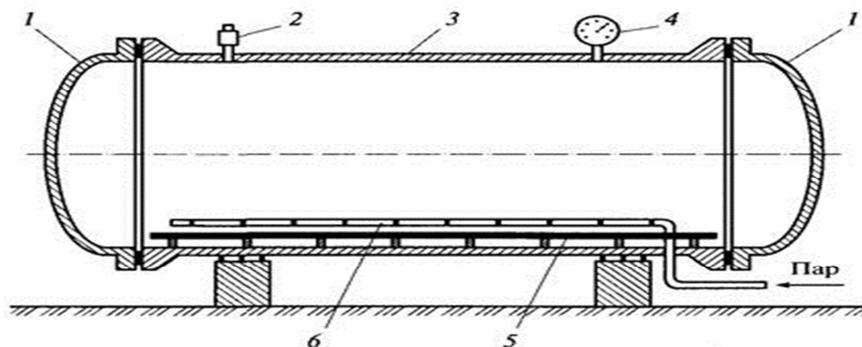


Рис. 1. Принципиальная схема горизонтального автоклава:

1 – крышка; 2 – предохранительный клапан; 3 – металлический цилиндр;
4 – манометр; 5 – рельсы для вагонеток; 6 – паропровод

Стерилизацией называют тепловую обработку консервов при температуре 100 °С и выше с целью подавления жизнедеятельности микроорганизмов. Тепловая стерилизация пищевых продуктов – основной процесс консервного производства, почти полностью уничтожающий микроорганизмы и обеспечивающий сохранность консервов в течение длительного времени. При стерилизации консервов основное значение имеют два фактора: температура и продолжительность ее воздействия [3]. Чем выше температура стерилизации, тем меньше времени затрачивается на инактивирование микробов, и наоборот. Продолжительность воздействия температуры, необходимой для уничтожения микробов, называется «смертельным временем» и зависит от температуры стерилизации, материала и размеров тары, химических и физических свойств продукта, вида и количества микробов в продукте, подвергаемом стерилизации.

Формула для стерилизации в паровоздушной среде с противодавлением имеет вид

$$\frac{a - A - B - C}{T} P,$$

где a – время продувки автоклава, в течение которого воздух из него вытесняется паром, мин; A – время нагревания теплоносителя в автоклаве от начальной температуры до заданной (период нагревания), мин; B – время выдержки при заданной температуре (стерилизация), мин; C – время снижения температуры и давления до уровня, позволяющего производить разгрузку (период охлаждения), мин; T – температура стерилизации (греющей среды), °С; P – противодействие, создаваемое в автоклаве для компенсации внутреннего давления, возникающего в банке при стерилизации, кПа.

Противодавлением называют сумму давлений греющего пара или воды и избыточного давления, создаваемого при помощи сжатого воздуха или воды, которую подают в автоклав под напором. Противодействие создают внутри устройства для стерилизации консервов во избежание возникновения необратимых деформаций доньшек и крышек банок или срыва крышек со стеклянных банок.

Исследование текущего состояния и системы управления работой автоклава. Исследуя работу автоклава на данном этапе, можно с уверенностью заявить, что при данном режиме работы нельзя обеспечить высокое качество стерилизуемой продукции. Этому способствует ряд факторов, в частности то, что основным теплоносителем (пар) поступает непосредственно в автоклав через барботер. Вследствие этого происходит нагрев острым паром, что не может не сказаться на качестве консервов, т. к. продукция в банке состоит из жидкой и твердой части, быстрее прогревается жидкая часть, в которой теплопередача происходит путем конвекции, тогда как в твердой части, где теплопередача определяется в основном теплопроводностью, прогрев идет со значительным отставанием. Внедрение в работу автоклава нововведений, предложенных в данной работе, позволит избежать в дальнейшем брака стерилизуемой продукции и повысить качество продукции в целом.

Вторым основополагающим фактором является экономия энергоносителей, затрачиваемых при термической обработке продукции. На данном этапе вода, используемая при стерилизации, никак не участвует в охлаждении продукции, т. к. по окончании процесса стерилизации она сливается из автоклава в общую канализацию. В данной работе предлагается использовать градирню с целью повышения экономии энергоносителей.

Разработка мероприятий по повышению качества продукции и энергоэффективности оборудования

Разработка системы управления и анализ регулирования основных параметров. Система управления автоклавом представляет собой совокупность объектов и субъектов управления. Система управления строится по многоуровневой структуре. От подсистем, расположенных на более высоком уровне, идет поток управляющей информации к подсистемам, расположенным на более низком уровне, в то же время подсистемы более низкого уровня посылают информацию о текущем состоянии объекта управления подсистемам более высокого уровня [4]. Преимущество иерархической структуры управления заключается в том, что решение задач управления основывается на базе локальных решений, принимаемых на соответствующих уровнях иерархии управления.

Нижний уровень управления является источником информации для принятия управленческих решений на более высоком уровне. Поток информации от уровня к уровню по количеству информации уменьшается с повышением уровня, но при этом увеличивается ее смысловое (семантическое) содержание.

Система управления автоклавом имеет двухуровневую структуру.

Нижний уровень образуют датчики контроля, исполнительные механизмы, программируемые контроллеры.

Второй уровень образуют ЭВМ, которые выводят всю информацию о протекающем процессе на монитор оператора.

Связь между программируемым логическим контроллером и ЭВМ осуществляется с помощью магистральной сети Ethernet. Ethernet – самая популярная сетевая архитектура. Она использует узкополосную передачу со скоростью 10 Мбит/с, топологию «шина». Среда (кабель) Ethernet является пассивной, т. е. получает питание от компьютера.

Системой автоматизации предусмотрены программное регулирование температуры в автоклаве в соответствии с установленным режимом (формулой) стерилизации и регулирование давления в зависимости от температуры. Измерение температуры в автоклаве осуществляется датчиком термосопротивления, выходной сигнал которого подается на вход программного регулятора. Регулятор в соответствии с программой, заданной на перфорированном диске, воздействует на регулирующие клапаны, установленные на трубопроводах подачи пара и воды. Давление в автоклаве измеряется специальным датчиком давления и манометром.

Регулирование давления в автоклаве осуществляется программным регулятором давления путем подачи командных импульсов на клапаны, установленные на трубопроводах подачи сжатого воздуха и слива воды. Запись температуры и давления в автоклаве осуществляется вторичным прибором. Система предусматривает также контроль давления пара, воды и воздуха в магистральных автоклавного отделения с помощью установленных по месту датчиков. Падение давления указанных энергоносителей отражается на щите сигнализации автоклавного отделения.

Предусмотрена защита от падения давления в магистрали подачи воздуха для питания приборов и регуляторов, установленных на щите. В этом случае датчик давления воздействует на вентиль с электромагнитным приводом и клапан, при этом прекращается подача воздуха в систему; оставшийся в системе воздух стравливается в атмосферу.

Использование градирни и теплообменного аппарата совместно с работой автоклава.

Градирней называется промышленная установка, предназначенная для охлаждения оборотной воды, используемой для отведения тепла от технологического оборудования в системах оборотного водоснабжения. Работа градирни основана на охлаждении некоторого объема жидкости атмосферным воздухом [5, 6]. Для охлаждения автоклавов будет использоваться вентиляционная градирня испарительного типа (открытая). Испарительная градирня открытого типа разбрызгивает горячую воду и смешивает ее с более холодным наружным воздухом. При этом часть воды превращается в пар и вместе с нагретым наружным воздухом выбрасывается в атмосферу, оставшаяся же вода охлаждается. На рис. 2 приведена схема вентиляционной градирни.

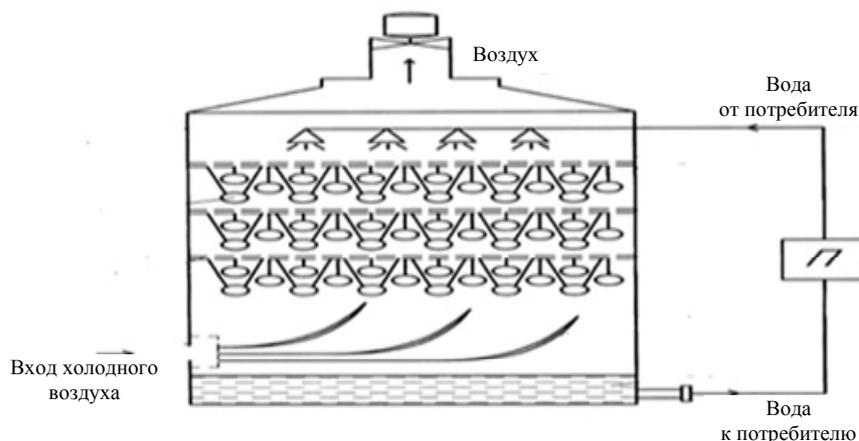


Рис. 2. Схема вентиляционной градирни

Градирня состоит из нескольких элементов: каркаса, водосборной емкости, водораспределительной системы, системы прокачки воздуха, охлаждающего (оросительного) устройства.

Охлаждение воды в градирне происходит за счет передачи тепла воздуху и за счет испарения. Устройство и принцип работы градирни достаточно прост. Нагретая вода подается на водораспределительное устройство, которое представляет собой систему трубопроводов с разбрызгивающими соплами. Вода, проходя самотеком, разбивается на мелкие капли размером 2–3 мм и распределяется по всему объему градирни, далее попадает на оросительное устройство, имеющее большую развитую поверхность [7]. При прохождении воды через ороситель происходит перераспределение и перемешивание потоков, в результате чего увеличивается охлаждающий эффект.

Одновременно навстречу движению воды через воздухозаборные окна подается поток воздуха, после чего нагретая паровоздушная смесь выбрасывается в атмосферу. Прокачка воздуха обеспечивается с помощью вентилятора. Далее охлажденная вода собирается и накапливается в водосборной емкости и подается на оборудование. Водосборная емкость представляет собой бак достаточных размеров, откуда уже с помощью насосов вода поступает на охлаждение автоклавов.

Теплообменник – техническое устройство, в котором осуществляется теплообмен между двумя средами, имеющими различные температуры. Работает теплообменник по перекрестной схеме. Секции по очереди наполняются подогреваемой и остужаемой средой. Посредством пластин совершается теплообмен. Уплотнители различной формы обеспечивают заполнение секций [8, 9]. Пластинчатые теплообменные аппараты организованы таким образом, что среды перемещаются навстречу друг другу: охлаждаемая выходит снизу и выходит в верхний патрубок, а нагревающая наоборот.

Для работы горизонтального автоклава предлагается использовать пластинчатый теплообменник фирмы «Ридан». Преимуществом данного теплообменника является то, что он прост в изготовлении, легко модифицируется (добавляются или убираются пластины), его легко чистить, у него высокий коэффициент теплопередачи.

В нашем случае теплообменник будет использоваться и для нагрева воды, и для ее охлаждения. На первоначальном этапе вода поступает в автоклав при температуре 70 °С, т. к. нам необходимо произвести дальнейший нагрев воды до требуемой температуры, мы будем использовать наш теплообменник. При подаче достаточного количества воды в автоклав вступает в работу циркуляционный насос, который качает воду по замкнутому кругу из автоклава в теплообменник и обратно. В это время в теплообменник подается пар высокой температуры, который осуществляет дальнейший нагрев воды, циркулирующей из автоклава в теплообменник. При этом вода, циркулирующая с автоклава в теплообменник, не смешивается с паром, поступающим в теплообменник, а нагрев циркулирующей воды происходит в результате теплообмена. При таком методе нагрева пар подается в автоклав не напрямую, что нивелирует открытый контакт пара с продукцией, процесс нагрева становится более безопасным, и не происходит перегрев продукции. При таком методе нагрева продукции реальный график температуры будет максимально приближен к эталонному.

После окончания процесса стерилизации охлаждение будет также осуществляться при помощи пластинчатого теплообменника, только в теплообменник будет подаваться вода при температуре 30 °С с градирни, обеспечивая охлаждение циркулирующей воды. В результате будет происходить более плавное охлаждение продукции и охлажденная вода не будет сливаться в канализацию.

Заключение

Применение предложенных в данной работе технических средств позволит снизить брак в выпускаемой продукции и повысить ее конкурентоспособность на продовольственном рынке. Также модернизация и установка дополнительного оборудования позволят значительно сократить затраты на потребление энергоресурсов. А подбор современных средств управления позволит выстроить оптимальную и слаженную систему управления. При этом основная цель производственно-хозяйственной деятельности предприятий остается неизменной.

В процессе выполнения работы получены следующие результаты, имеющие как научное, так и практическое значение:

- проведен анализ проблем систем управления и выявлены недостатки систем автоматического управления технологическим процессом стерилизации консервов;
- разработана новая структура управления автоклавом с целью экономии энергоресурсов и повышения качества готовой продукции;
- реализована двухуровневая распределенная автоматизированная система управления технологическим процессом на базе контроллера и с использованием электронно-вычислительной машины;
- проведены анализ существующей системы управления на производстве, оценка качества работы;
- определены состав, структура и технические решения программно-аппаратного комплекса для управления технологическим процессом стерилизации консервов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барзам А. Б. Системная автоматика. М.: Энергоатомиздат, 1989. 165 с.
2. Автоклав // Большая российская энциклопедия. URL: <https://bigenc.ru/chemistry/text/4087609>. (дата обращения: 08.04.2021).
3. Клюев А. С., Глазов Б. В., Дубровский А. Х., Клюев А. А. Проектирование систем автоматизации технологических процессов. М.: Энергоатомиздат, 1990. 120 с.
4. Шагин А. В., Демкин В. И. и др. Основы автоматизации техпроцессов. М.: Высш. образование, 2009. 180 с.
5. Пономаренко В. С., Арефьев Ю. И. Градирни промышленных и энергетических предприятий. М.: Энергоатомиздат, 1998. 140 с.
6. Гладков В. А., Арефьев Ю. И. Вентиляторные градирни. М.: Стройиздат, 1964. 98 с.
7. Берман Л. Д. Испарительное охлаждение циркуляционной воды. М.: Госэнергоиздат, 1957. 60 с.
8. Цыганков А. С. Расчеты теплообменных аппаратов: справ. пособие. Л.: Гос. союз. изд-во судостроит. пром-сти, 1956. 310 с.
9. Видин Ю. В., Иванов В. В., Казаков Р. В. Инженерные методы расчета задач теплообмена: моногр. М.: Инфра-М, 2018. 480 с.

Статья поступила в редакцию 26.04.2021

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Эмиль Викторович Теплов – магистрант кафедры электрооборудования и автоматики судов; Астраханский государственный технический университет; Россия, 414056, Астрахань; emiltleprov@mail.ru.

Николай Геннадьевич Романенко – канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой электрооборудования и автоматики судов; Астраханский государственный технический университет; Россия, 414056, Астрахань; nikolayrom@yandex.ru.

Сергей Владимирович Головкин – канд. техн. наук, доцент кафедры электрооборудования и автоматики судов; Астраханский государственный технический университет; Россия, 414056, Астрахань; g_s_v_2007@mail.ru.



MODERNIZATION OF INDUSTRIAL HORIZONTAL AUTOCLAVE

E. V. Tleпов, N. G. Romanenko, S. V. Golovko

*Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russian Federation*

Abstract. The article considers the problems of raising the efficiency of energy resources spent on the operation of a horizontal industrial autoclave, improving the quality of sterilized products and reducing the number of spoiled products. The analysis of the problems in automation control systems has been carried out and the shortcomings of the automatic control systems of technological process of canned food sterilization have been revealed. There has been described in detail the hierarchical structure of the autoclave control system. The main blockages caused by the pressure drop in air-main, water-main and steam-main are indicated. A detailed description of the cooling tower structure is given, the principle of cooling the circulating water and its supply to the consumer is analyzed. Within the framework of solving the problem of increasing the efficiency of energy resources and based on the technical characteristics, throughput and heat transfer coefficient, it is proposed to use a plate heat exchanger. There is described its operation principle, which includes heating the incoming water to a predetermined temperature and cooling it at the end of the sterilization cycle. The combined use of a cooling tower and a heat exchanger will help to greatly reduce the energy costs, because the water used in the sterilization process will not drain into the general sewer at the end of the process, but will be cooled in a cooling tower and supplied to cool the autoclaves. When heated, the live steam won't go directly into the autoclave, but will be fed into a heat exchanger to heat the circulating water, which will significantly reduce the overheating of the sterilized product.

Key words: autoclave, cooling tower, heat exchanger, control system, product quality, sterilization, economy.

For citation: Tleпов E. V., Romanenko N. G., Golovko S. V. Modernization of industrial horizontal autoclave. *Vestnik of Astrakhan State Technical University*. 2021;1 (71):29-35. (In Russ.) DOI: 10.24143/1812-9498-2021-1-29-35.

REFERENCES

1. Barzam A. B. *Sistemnaia avtomatika* [System automation]. Moscow, Energoatomizdat, 1989. 165 p.
2. Avtoklav [Autoclave]. *Bol'shaia rossiiskaia entsiklopediia*. Available at: <https://bigenc.ru/chemistry/text/4087609> (accessed: 08.04.2021).
3. Kliuev A. S., Glazov B. V., Dubrovskii A. Kh., Kliuev A. A. *Proektirovanie sistem avtomatizatsii tekhnologicheskikh protsessov* [Designing automation systems for technological processes]. Moscow, Energoatomizdat, 1990. 120 p.
4. Shchagin A. V., Demkin V. I. i dr. *Osnovy avtomatizatsii tekhnoprotsessov* [Basics of automation of technical processes]. Moscow, Vysshee obrazovanie Publ., 2009. 180 p.
5. Ponomarenko V. S., Arefev Iu. I. *Gradirni promyshlennykh i energeticheskikh predpriatii* [Cooling towers of industrial and energy enterprises]. Moscow, Energoatomizdat, 1998. 140 p.

6. Gladkov V. A., Arefev Iu. I. *Ventiliatornye gradirni* [Fan cooling towers]. Moscow, Stroiizdat, 1964. 98 p.
7. Berman L. D. *Isparitel'noe okhlazhdenie tsirkulatsionnoi vody* [Evaporative cooling of circulating water]. Moscow, Gosenergoizdat, 1957. 60 p.
8. Tsygankov A. S. *Raschety teploobmennykh apparatov: spravochnoe posobie* [Calculations of heat exchangers: reference manual]. Leningrad, Gos. soiuz. izd-vosudostroit. prom-sti, 1956. 310 p.
9. Vidin Iu. V., Ivanov V. V., Kazakov R. V. *Inzhenernye metody rascheta zadach teploobmena: monografiia* [Engineering methods for calculating heat transfer problems: monograph]. Moscow, Infra-M Publ., 2018. 480 p.

The article submitted to the editors 26.04.2021

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Emil V. Tlepov – Master's Course Student of the Department of Electrical Equipment and Ship Automatics; Astrakhan State Technical University; Russia, 414056, Astrakhan; emiltlepov@mail.ru.

Nikolay G. Romanenko – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Head of the Department of Electrical Equipment and Ship Automatics; Astrakhan State Technical University; Russia, 414056, Astrakhan; nikolayrom@yandex.ru.

Sergey V. Golovko – Candidate of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department of Electrical Equipment and Ship Automatics; Astrakhan State Technical University; Russia, 414056, Astrakhan; g_s_v_2007@mail.ru.

