

УДК: 664.8.036.2

Совершенствование стерилизационной установки на базе модернизированного медицинского стерилизатора ВК-30

А.А. Маслов, А.В. Власов, А.В. Кайченков, А.Р. Власова, В.В. Яценко
Политехнический факультет МГТУ, кафедра автоматики и вычислительной техники

Аннотация. В статье описываются результаты экспериментов по определению эффективности стерилизационной установки АВК-30, разработанной на базе стерилизатора ВК-30. Предлагаются пути ее повышения.

Abstract. The paper describes results of experiments for determining efficiency of the sterilizer AVK-30. The ways of upgrading of the apparatus have been offered.

Ключевые слова: автоматика, стерилизация, автоклав, замкнутый цикл
Key words: automatic, sterilization, autoclave, closed loop

1. Введение

Стерилизация является одним из наиболее распространенных и надежных способов консервирования пищевой продукции. Выпуском консервной продукции занимаются как крупные, так и малые предприятия. В условиях современного рынка (и особенно вследствие начавшегося осенью 2008 года экономического кризиса) перед малыми предприятиями встает непростая задача поддержания конкурентоспособности выпускаемой продукции. Открытие нового консервного производства либо расширение старого требует значительных капиталовложений, при этом проблема усугубляется особенностями современного рынка стерилизационных установок. На текущий момент в продаже отсутствуют недорогие и эффективные отечественные стерилизационные установки.

В сложившихся условиях перед руководством малого предприятия встает проблема выбора: либо приобрести стерилизационную установку зарубежного производства (что требует значительных капиталовложений), либо остановить свой выбор на отечественном оборудовании. В последнем случае предлагаемый ассортимент варьируется от недорогих, но малоэффективных установок с системами автоматического управления 80-90 годов (или вообще без оных) до современных полностью автоматизированных стерилизационных установок, в большинстве своем воспроизводящих зарубежные аналоги, выполненных на зарубежной элементной базе и вплотную приближающихся к зарубежным аналогам по стоимости (Моцелкова, Рязанцев, 2007).

Существует также вариант использования в качестве автоклава сосуда высокого давления соответствующих размеров. Для получения стерилизационной установки его необходимо оснастить соответствующими контрольно-измерительными приборами, исполнительными механизмами и системой управления. Обычно подобный вариант – наименее затратный, и эффективность данного решения напрямую зависит от квалификации разработчика и доступной элементной базы.

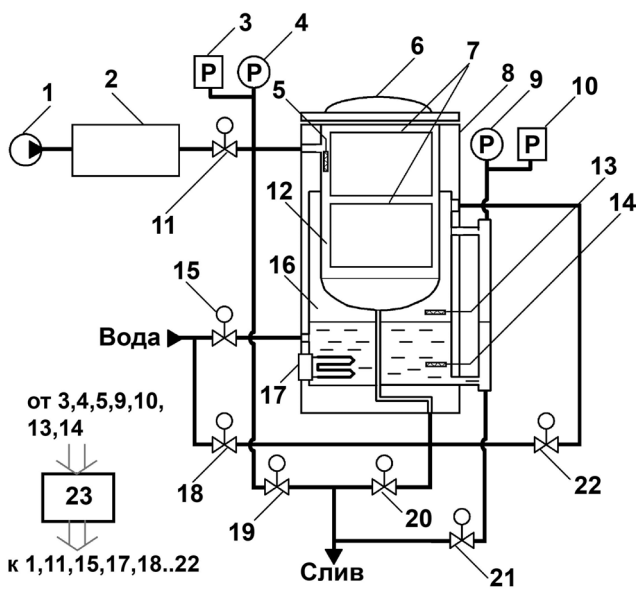
Этот вариант был выбран кафедрами Автоматики и вычислительной техники (АиВТ) и Технологии пищевых производств МГТУ, когда в конце 2007 года они приняли решение создать на базе медицинского стерилизатора ВК-30 современную, эффективную и недорогую стерилизационную установку, получившую название АВК-30.

2. Описание объекта

Отличительной особенностью ВК-30 является интегрированный парогенератор (рис. 1). Цилиндр стерилизационной камеры 12 охвачен снизу и с боков водопаровой камерой 16 (рабочим объемом парогенератора). Это делает процесс нагрева стерилизационной камеры более интенсивным, так как наряду с передачей энергии путем подвода теплоты паром происходит теплообмен через рубашку.

ВК-30 был модернизирован с целью создания стерилизационной установки. Модернизация заключалась, во-первых, в удалении эжектора, предназначенного для создания вакуума с целью сушки стерилизованных медицинских предметов. Во-вторых, была полностью переработана схема подачи пара в стерилизационную камеру. С целью обеспечения более равномерного прогрева содержимого стерилизационной камеры отбираемый от парогенератора пар подается снизу рабочего объема (а не сбоку, как это было до модернизации).

Рис. 1. Стерилизационная установка АВК-30



- 1 – компрессор;
- 2 – воздушный ресивер;
- 3, 10 – датчики избыточного давления;
- 4, 9 – манометры;
- 5 – датчик температуры среды стерилизационной камеры;
- 6 – крышка стерилизационной камеры;
- 7 – клетки с банками;
- 8 – рубашка автоклава;
- 11 – клапан подачи воздуха;
- 12 – стерилизационная камера;
- 13 – датчик температуры паровоздушной среды в парогенераторе;
- 14 – датчик температуры воды в парогенераторе;
- 15 – клапан подачи воды в парогенератор;
- 16 – водопаровая камера;
- 17 – трубчатые электронагреватели;
- 18 – клапан подачи охлаждающей воды в стерилизационную камеру;
- 19 – спускной клапан;
- 20 – клапан слива из стерилизационной камеры;
- 21 – клапан слива из парогенератора;
- 22 – клапан подачи пара;
- 23 – система управления.

В-третьих, был реализован подвод охлаждающей воды (из магистрали) и воздуха для создания противодавления (создается связкой 1-2).

В качестве нагревательного элемента парогенератора используются три трубчатых электронагревателя (ТЭНа) 17 суммарной мощностью 4,5 кВт. Применение ТЭНов в данной установке оправдано малыми габаритами стерилизатора и простотой в эксплуатации.

АВК-30 оборудован системой управления 23, построенной на базе программируемого логического контроллера, получающей информацию о ходе процесса от датчиков температуры (5, 13 и 14) и давления (3, 10) и осуществляющей управление установкой посредством электромагнитных клапанов (11, 15, 18..22) и ТЭНами 17.

3. Постановка задачи

Основная цель исследований – повышение экономичности АВК-30, уменьшение расхода электрической энергии и воды на процесс стерилизации, что позволит понизить затраты на выпуск единицы продукции. Для этого требуется провести набор экспериментов с целью получения опытных данных, основываясь на которых необходимо найти и обосновать пути совершенствования стерилизационной установки.

4. Проведение экспериментов

Для проведения экспериментов на кафедре АиВТ МГТУ был создан программно-аппаратный комплекс, состоящий из регистратора, датчиков температуры и избыточного давления, а также компьютерного программного обеспечения (Власов и др., 2008; 2007). В ходе экспериментов фиксировались температура среды в стерилизационной камере, температуры воды и паровоздушной смеси в парогенераторе, давления в стерилизационной камере и парогенераторе, а также уровень воды в парогенераторе.

Перед загрузкой балластных банок в стерилизационную камеру установка проходит процесс пароподготовки. Она заключается в наполнении водопаровой камеры 16 водой посредством клапана 15 и подогревом этой воды ТЭНами 17 до температуры кипения с последующим парообразованием, в ходе которого давление пара достигает значения уставки ($2,2 \text{ кгс/см}^2$). На рис. 2 показаны временные зависимости температуры воды в парогенераторе $T_{в,пг}$, температуры пара в парогенераторе $T_{п,пг}$ и давления среды $P_{пг}$ в парогенераторе на этапе пароподготовки.

При проведении экспериментов до момента закипания воды из парогенератора периодически стравливался воздух (клапаны 20 и 22), так как было установлено, что при этом процесс пароподготовки в целом проходит за меньшее время (моменты стравливания отмечены на рисунке знаками *), как показали эксперименты, в среднем, на 15 %.

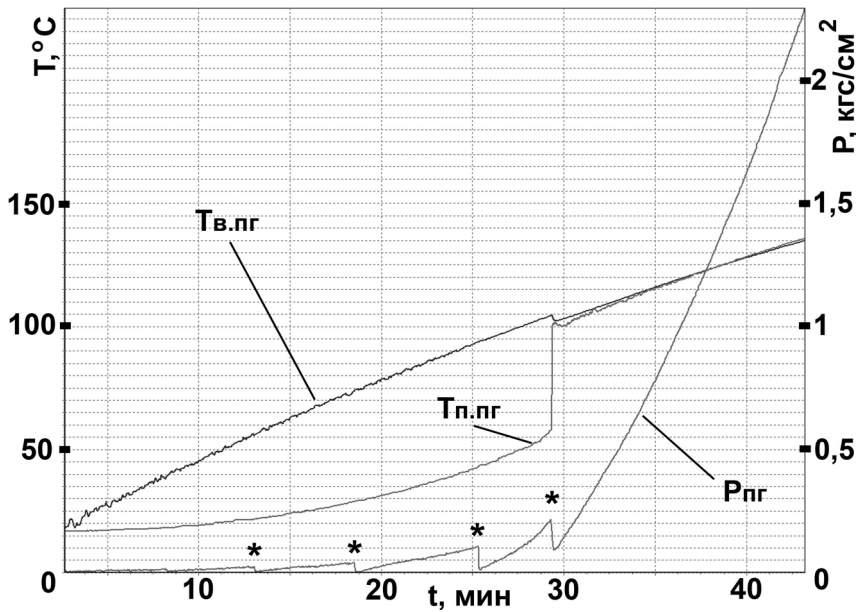


Рис. 2. Временные зависимости параметров среды в парогенераторе на этапе пароподготовки

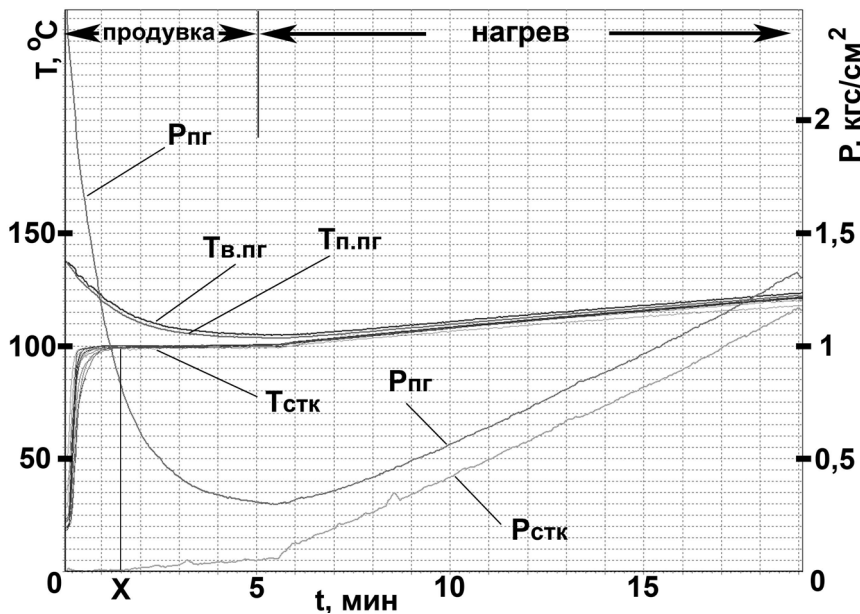


Рис. 3. Временные зависимости параметров сред в парогенераторе и стерилизационной камере на этапах продувки и нагрева

Из анализа представленных на рис. 2 временных зависимостей можно сделать вывод, что этап пароподготовки в установке требует интенсификации, так как занимает продолжительный интервал времени (около 40 минут). Отчасти такая длительность обусловлена большим изначальным объемом воды в парогенераторе. В начале пароподготовки в водопаровую камеру подается 15 литров воды, в то время как на процесс стерилизации расходуется менее пяти.

После пароподготовки и загрузки банок начинается процесс стерилизации. Первым этапом процесса является продувка, предназначенная для вытеснения паром воздуха из стерилизационной камеры и первичного нагрева продукта. В течение этого этапа открыты клапаны 19 и 22. Признаком окончания этапа продувки служит достижение температурой греющей среды стерилизационной камеры значения 98...100 °С, а также появление "интенсивной струи пара на выходе" (Бабарин, 2006). Типовая продолжительность этапа продувки – 5 минут.

За этапом продувки следует этап нагрева, в котором клапан 19 закрывается, соответственно, начинает повышаться давление в стерилизационной камере. К моменту окончания этапа нагрева температура в стерилизационной камере должна достигнуть заданной температуры стерилизации согласно режиму.

На рис. 3 представлены временные зависимости температуры воды в парогенераторе $T_{в.пг}$, температуры пара в парогенераторе $T_{п.пг}$, температур в 15 характерных точках среды стерилизационной камеры $T_{смк}$ (Власов и др., 2008; 2007), давления пара $P_{пг}$ в парогенераторе и давления среды в стерилизационной камере $P_{смк}$ для этапов продувки и нагрева стерилизационной камеры.

Этап продувки у АВК-30 характеризуется режимом снижением давления в парогенераторе (на 85 % от значения уставки). На рис. 3 видно, что температура греющей среды во всех точках достигает уровня 98...100 °С за время X , менее трети продолжительности продувки. Остальное время пар расходуется неэффективно, так как воздух из камеры уже вытеснен. Этот этап работы установки требует совершенствования.

Протекание этапа нагрева зависит от давления в парогенераторе к концу этапа продувки: если оно сильно отличается от уставки в меньшую сторону, скорость нагрева стерилизационной камеры и, следовательно, продолжительность этапа нагрева ограничиваются мощностью ТЭНов и объемом воды в парогенераторе.

После этапа нагрева наступает этап собственно стерилизации, на котором система управления установкой 23 посредством клапана 22 поддерживает значение температуры греющей среды в стерилизационной камере, равное температуре стерилизации. Этот этап характеризуется наименьшей нагруженностью парогенератора, АВК-30 качественно поддерживает параметры процесса (температуру и давление в стерилизационной камере) в течение всего этапа.

После этапа собственно стерилизации следует этап охлаждения, на котором содержимое стерилизационной камеры охлаждается водой. Вода подается в камеру посредством клапана 18, при этом с помощью клапана 11 в камере поддерживается постоянное давление во избежание бомбажа стерилизуемых консервов. После заполнения камеры водой открывается спускной клапан 19, за счет чего реализуется проток охлаждающей воды через камеру, что позволяет эффективнее отбирать тепло от продукта и стенок стерилизационной камеры.

На этапе охлаждения наблюдается резкое понижение давления в водопаровой камере. Это обуславливается тем, что охлаждающая вода отбирает тепло не только от стерилизационной камеры с находящимися внутри консервами, но и от парогенератора посредством рубашечного теплообмена. Таким образом, резко возрастают расход охлаждающей воды и отбросные потери тепла. Влияние этого фактора должно быть сведено к минимуму, в противном случае будет снижена энергетическая эффективность установки.

При работе с ВК-30 было отмечено наличие значительных тепловых потерь от теплообмена с окружающей средой через стенки сосуда. При этом парогенератор (имеющий большую в сравнении со стерилизационной камерой площадь соприкосновения с окружающей средой) охлаждался примерно на порядок интенсивнее стерилизационной камеры.

5. Пути повышения эффективности установки

Основываясь на экспериментальных данных о функционировании установки на всех этапах процесса стерилизации, можно сделать следующие выводы.

Наличие значительных тепловых потерь от теплообмена с окружающей средой через стенки сосуда требует теплоизоляции аппарата (в особенности – парогенератора и крышки стерилизационной камеры), что позволит в целом повысить энергетическую эффективность установки.

Продолжительность этапа пароподготовки должна быть сокращена, что может быть достигнуто за счет теплоизоляции парогенератора. Также этой цели можно достичь уменьшением объема подогреваемой на этапе пароподготовки воды, так как подогрев 15 литров избыточен с учетом того, что на процесс расходуется менее пяти. Помимо этого длительность этапа может быть сокращена за счет вторичного использования энергии предыдущей автоклавоварки, то есть использования теплого конденсата и оставшегося с предыдущей варки содержимого парогенератора по замкнутому циклу (техническое решение рассмотрено ниже по тексту).

Эффективность этапа продувки может быть повышена за счет обоснованного сокращения продолжительности открытия клапана подачи пара. На выходе из стерилизационной камеры требуется установить датчик, позволяющий различать состав вещества, удаляющегося из стерилизационной камеры (воздух – паровоздушная смесь – пар). Таким образом, на этапе продувки будет обеспечиваться постоянный контроль степени удаления воздуха из стерилизационной камеры. Если датчик длительное время будет показывать наличие пара на выходе, то будут иметься основания для сокращения подачи пара. Начиная с этого момента, управление подачей пара должно осуществляться, исходя из задачи достижения температурой греющей среды в стерилизационной камере заданного значения.

По вопросу физической реализации датчика наличия пара на выходе стерилизационной камеры было выдвинуто предложение использовать разработанную авторским коллективом научно-

исследовательской группы кафедры АиВТ Яценко В.В., Власовым А.В. и Власовой А.Р. методику определения состава вещества путем анализа его амплитудно-частотных характеристик, формируемых при пропускании переменного электромагнитного поля через среду (Ершов и др., 2008). Были проведены предварительные исследования, показавшие пригодность упомянутой методики к оценке состава вещества на выходе стерилизационной камеры.

Устранение значительного провала давления на этапе продувки позволит при необходимости интенсифицировать этап нагрева, расширив спектр доступных для реализации на данной установке режимов стерилизации.

Для повышения эффективности этапа охлаждения было предложено внедрить в установку дополнительный сосуд высокого давления ("экономайзер"), предназначенный для хранения используемых при работе сред. Так, энергия продувочного пара будет использована для подогрева экономайзера. Конденсат (периодически удаляемый из стерилизационной камеры на различных этапах процесса стерилизации) предлагается не утилизировать в канализацию, а сливать в экономайзер.

Также экономайзер будет выступать в роли накопителя для содержимого водопаровой камеры на протяжении этапа охлаждения. Это устраняет причину, снижающую эффективность данного этапа. В следующем цикле стерилизации в начале этапа пароподготовки содержимое экономайзера может быть транспортировано обратно в водопаровую камеру. Это, как уже упоминалось, позволит сократить длительность пароподготовки за счет того, что содержимое парогенератора изначально будет иметь более высокую температуру по сравнению с водопроводной водой.

6. Выводы

В ходе проведенного исследования были экспериментально установлены основные недостатки стерилизационной установки АВК-30 и намечены пути их устранения с целью повышения эффективности. В настоящее время теплоизоляция установки завершена, экономайзер смонтирован, разработан алгоритм работы системы автоматического управления для его практической реализации. Разработана функциональная схема устройства датчика состава вещества на выходе стерилизационной камеры на этапе продувки, ведется поиск оптимальной конструкции чувствительного элемента и его проектирование.

Литература

- Бабарин В.П.** Стерилизация консервов: Справочник. СПб., ГИОРД, с.208, 2006.
- Власов А.В., Кайченев А.В., Маслов А.А.** Практическая реализация программно-аппаратного комплекса для экспериментального исследования температурного поля в стерилизационной камере автоклава. *Сб. статей XI Междунар. научно-практической конференции "Современные технологии в машиностроении"*, Пенза, с.267-269, 2007.
- Власов А.В., Кайченев А.В., Маслов А.А.** Программно-аппаратный комплекс для экспериментального исследования температурного поля в стерилизационной камере автоклава. *Сб. трудов VI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых "Молодежь и современные информационные технологии"*, Томск, с.393-395, 2008.
- Ершов А.М., Маслов А.А., Совлуков А.С., Курамшина А.Р., Яценко В.В.** Метод диэлектрической спектроскопии измерения физических свойств жидкостей. *Матер. российской конф. с междунар. участием "Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения (УКИ'08)" (10-12 ноября 2008 г.)*, М., ИИПУ РАН, с.191-193, 2008.
- Мошелкова В.Ю., Рязанцев В.Е.** Новое поколение российской стерилизационной техники. *Техника и технология*, № 3/2007, с.40-41, 2007.