

664.8(43)
Ф 69

Б. Л. ФЛАУМЕНБАУМ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СТЕРИЛИЗАЦИИ КОНСЕРВОВ

**ИЗДАТЕЛЬСТВО
КИЕВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
1960**

664.8(075)
4069

Б. Л. ФЛАУМЕНБАУМ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СТЕРИЛИЗАЦИИ КОНСЕРВОВ

Допущено Министерством высшего и среднего специального образования СССР в качестве учебного пособия для студентов технологических институтов пищевой промышленности СССР

ОНАХТ 664.8(075)

Теоретические основы



714174



ИЗДАТЕЛЬСТВО КИЕВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

1960

УХА ВУ
171017313

Учебное пособие написано применительно к программе курса «Основы консервирования», читаемого доц. Б. Л. Флауменбаумом на технологическом факультете Одесского технологического института пищевой и хлещодильной промышленности, и составляет по объему приблизительно 30—40% этого курса.

В пособии рассматриваются основные факторы, определяющие выбор температуры и продолжительность стерилизации (химический состав, температура стерилизации, характер микрофлоры, концентрация микроорганизмов, физические свойства продукта и т. д.). Значительное место уделено вопросам математического расчета продолжительности стерилизации. Подробно рассмотрены вопросы, связанные с расчетом давления в консервных банках, а также новейшие методы асептического консервирования.

Пособие рассчитано на студентов пищевых вузов, а также будет полезно для научных сотрудников и инженеров.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящая работа посвящена наиболее важному, сложному и ответственнойому этапу технологии консервирования—стерилизации консервов.

В книге рассматриваются основные факторы, определяющие выбор температуры стерилизации и продолжительность этого процесса (химический состав консервов, температура стерилизации, характер микрофлоры, концентрация микроорганизмов, физические свойства продуктов, материал тары, геометрические размеры банок и т. п.).

Значительное место в книге уделено вопросам математического расчета продолжительности стерилизации. С такой полнотой этот материал в отечественной литературе излагается впервые.

В книге рассмотрены также весьма подробно вопросы, связанные с расчетом давления в консервных банках при стерилизации, и проанализированы меры, позволяющие снизить излишне высокое давление.

Вопросы теории стерилизации впервые затронуты в зарубежной литературе, и автор в значительной мере основывался на трудах зарубежных ученых. Однако приведенные в иностранной литературе данные автором критически переработаны, во многом углублены, дополнены сведениями из работ советских ученых (А. Рогачевой и др.), а также собственными теоретическими разработками и экспериментальными данными (теоретическими расчетами, связанными с концентрацией микроорганизмов и влиянием размера банок на прогреваемость, расчетами давления в банках при стерилизации и влияния эксгаустирования на давление, экспериментальными исследованиями прогреваемости консервов с последующей математической обработкой полученных термограмм и т. д.).

Хотя основное содержание книги—теоретические основы процесса, автором не обойдены также и вопросы техники стерилизации консервов (впрочем, они изложены кратко). Рассмотрены и новейшие методы асептического консервирования, в частности процесс Смит-Болла. Таким образом, в книге освещен почти весь комплекс вопросов, относящихся к процессу стерилизации консервов.



Книга написана применительно к программе курса «Основы консервирования», читаемого автором на технологическом факультете Одесского технологического института пищевой и холодильной промышленности, и составляет по объему приблизительно 30—35% этого курса. Таким образом, книга является учебным пособием для студентов вузов пищевой промышленности.

С другой стороны, немало интересного для себя материала могут почерпнуть в этой книге аспиранты, научные работники и инженеры. Так, приведенный в работе метод математического анализа режимов стерилизации является важным инструментом, дающим возможность на заводе контролировать эффективность получаемых «формул» стерилизации консервов и вносить в них требуемые коррективы.

Материал, могущий заинтересовать, главным образом, только научных работников и являющийся излишне подробным для студентов, выделен мелким шрифтом. Нужно, однако, сказать, что автор стремился не только передать студентам определенный фактический материал, но и умение анализировать этот материал, находить новые закономерности и делать собственные выводы. Воспитание в будущем инженере критического, исследовательского подхода к научным фактам, особенно в такой сравнительно молодой дисциплине, как технология консервирования, является, на наш взгляд, одной из важнейших задач курса. И хотя усвояемость и воспитательное значение материала этой книги прошли определенную проверку в студенческой аудитории, автор будет очень благодарен читателям за все критические замечания.

ВВЕДЕНИЕ

Консервирование пищевых продуктов при помощи тепловой стерилизации заключается в том, что пищевой продукт, уложенный в герметически закупориваемую жестяную или стеклянную тару, подвергается в течение определенного времени нагреванию. Нагревание осуществляется в общих чертах следующим образом: консервные банки (бутылки, баллоны) загружаются в стерилизационный аппарат, в котором постепенно повышают температуру, доводя ее до определенной величины. Достигнув нужной температуры, ее поддерживают в течение определенного промежутка времени на постоянном уровне, затем постепенно понижают, после чего выгружают из аппарата простерилизованные консервные банки.

Таким образом, основными параметрами, характеризующими процесс стерилизации, являются *температура*, которую нужно поднять и поддержать в стерилизационном аппарате, и *продолжительность* стерилизации, т. е. *время*, в течение которого консерв подвергают нагреванию.

В ряде случаев (для предохранения банок от деформации, для предупреждения срыва жестяных крышек с горловин стеклянных банок) процесс стерилизации приходится проводить под давлением, величина которого превышает упругость греющего пара. В этих случаях процесс стерилизации характеризуется тремя параметрами: температурой, временем и давлением.

Эти параметры для различных консервов неодинаковы. Так, например, шоре из шпината, расфасованное в банку № 83-2, стерилизуют при 120°, причем общее время нагревания составляет 100 мин. Консерв «Перец фаршированный» в банке № 83-1 стерилизуется при 112°, причем его подвергают нагреванию в течение 95 мин. Компот из яблок в банке № 83-2 стерилизуют при 100°, нагревая консерв в течение 60 мин., а фруктовые соки в банках № 83-2 стерилизуют при 80°, причем общее время нагревания составляет 30 минут.

Для того, чтобы определить параметры процесса стерилизации данного, конкретного вида консерва или, как принято говорить, для того, чтобы разработать режим стерилизации, необходимо знать факторы, которые влияют на эти параметры и которые, следовательно, обуславливают их выбор.

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ВЫБОР ТЕМПЕРАТУРЫ СТЕРИЛИЗАЦИИ

Все консервируемые пищевые продукты являются хорошей питательной средой для развития тех или иных микроорганизмов. И каждый консерв к моменту поступления его на стерилизацию в той или иной мере обсеменен микробами.

Однако не в каждом консерве микроорганизмы могут развиваться в одинаковой мере хорошо. Микробы очень чувствительны к активной кислотности той среды, в которой они находятся, причем некоторые из них плохо развиваются в кислой среде, но очень хорошо действуют в малокислотных продуктах, другие — наоборот, хорошо развиваются только в кислой среде. Поэтому разные пищевые продукты, в зависимости от их кислотности, могут портиться лишь теми микробами, которые могут при данной кислотности развиваться и, следовательно, тип микробной порчи зависит от природы продукта.

В связи с этим было предложено классифицировать консервируемые пищевые продукты по величине их активной кислотности на три группы: нектислотные (рН выше 6,0), малокислотные (рН равно 4,5—6,0) и кислотные (рН ниже 4,5).

К первой и второй группам относятся мясные и рыбные консервы, мясорастительные консервы, молоко, некоторые овощные консервы, особенно типа натуральных. К третьей группе относятся томатные и все фруктовые консервы.

Какое же отношение имеет ацидофильность или ацидофобность микроорганизмов к выбору температуры стерилизации? Оказывается, что отношение микроорганизмов к кислоте находится в полном соответствии с отношением их к температурному фактору. Как правило, микроорганизмы, которые хорошо развиваются в нектислотной или малокислотной среде, в то же время хорошо переносят действие высокой температуры, являясь термоустойчивыми, или термодиллимыми.

Поэтому консервы, рН которых выше 4,5, нужно стерилизовать при более высокой температуре, чем другие, более кис-

лотные консервы, а именно: при температуре выше 100°C. Следует иметь также в виду, что к этой группе ацидофобных и термоустойчивых микроорганизмов относятся такие опасные для здоровья и жизни потребителя микробы, как *Clostridium botulinum*, уничтожение спор которого принято во всем мире в качестве обязательного минимального стандарта при стерилизации нектислотных консервов. *Clostridium botulinum* относится к группе спорообразующих мезофильных анаэробов и является самым опасным, хотя и не самым термоустойчивым представителем этой группы гнилостных микробов. Такие анаэробы, например, как *Cl. sporogenes*, *Cl. putrificum*, являющиеся частой причиной порчи мясных и рыбных продуктов, еще более термоустойчивы, чем *Cl. botulinum*. Порча пищевых продуктов микробами этой группы обычно сопровождается образованием дурнопахнущих газов, разложением пищевого продукта и вздутием консервной банки.

Наиболее благоприятная кислотность для развития этих микробов характеризуется рН равным 6,0 и выше, хотя они могут развиваться и в интервале рН 4,5—5,0, не давая при этом газообразования.

Спорообразующие анаэробы попадают на пищевые продукты, главным образом, из почвы, чем и объясняется их широкое распространение в пыли, молоке, овощах и т. д. Некоторые виды этих микробов находятся обычно во внутренних частях животных; вследствие наличия их в животных экскрементах, они являются частой причиной заражения мяса. Считают, что присутствие этих микробов приводит к порче только мясных консервов; нужно, однако, сказать, что нередко гнилостные спорообразующие микробы вызывают порчу и консервированных овощных, рыбных, молочных и других продуктов.

При несколько большей кислотности пищевых продуктов (рН 4,5—5,0) в них нередко развиваются такие термоустойчивые микробы, как, например, *Cl. thermosaccharalytium*. Эти микробы относятся к группе термофильных анаэробов, вызывающих разложение углеводов с образованием газов (главным образом углекислого газа и водорода), при котором консервная банка вздувается.

В малокислотных консервах, особенно содержащих сахар или крахмал, часто развиваются также термофильные анаэробы типа *Bac. stearothermophilus*, вызывающие порчу консервов, не сопровождающуюся образованием газов и вздутием крышек банок. Консервы при этом просто скисают. Поэтому такой вид порчи называют «плоскокислим». Отсутствие внешнего признака, сигнализирующего о порче консерва (т. е. вздутия крышек), делает этот вид порчи особенно опасным.

Несмотря на то, что в консервных банках содержится, как правило, мало воздуха, все-таки в нектислотной среде могут развиваться различные термоустойчивые микроорганизмы, относящиеся к группе спорообразующих аэробов. В литературе отме-

чены случаи порчи, вызванной этими микробами, таких консервов, как кукуруза в цельных зернах, сливки, рыбные и мясные консервы, причем нередко эта порча сопровождалась вздутием крышек.

Нужно сказать, что в кислой среде, рН которой ниже 4,5, термоустойчивые бактерии не только перестают развиваться, но и термоустойчивость их снижается, так что они сравнительно быстро погибают при повышении температуры среды.

Существует большая смешанная группа микроорганизмов (различные споро- и неспорообразующие бактерии, плесени и дрожжи), которая очень хорошо развивается в кислой среде. Однако эти виды микробов являются нетермоустойчивыми. Поэтому консервы, характеризующиеся высокой кислотностью, можно стерилизовать при более низкой температуре, чем малоокислотные, — при 100°С и даже ниже.

Порча кислых консервов может сопровождаться газообразованием и вздутием крышек (действие дрожжей, иногда плесеней, некоторых бактерий), но может и сводиться к «плоскокислой» форме (например, действие термофила *Vac. thermoacidurens* на томатный сок).

Стерилизация является общим термином, обозначающим тепловую обработку консервов при любых температурах, проводимую с целью уничтожения микробов. В более узком смысле под стерилизацией принято понимать тепловую обработку консервов при 100°С и выше (обычно не выше 121°С). Стерилизация же, проводимая при температуре ниже 100°С, носит название *пастеризации*.

Глава 11

ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ВЫБОР ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ НАГРЕВАНИЯ КОНСЕРВОВ ПРИ СТЕРИЛИЗАЦИИ

Если взвесь микробов поместить в тонкую запаянную с двух сторон стеклянную трубочку и погрузить затем в кипящую воду или вообще в среду, нагретую до достаточно высокой температуры, то микроорганизмы погибнут. Однако уничтожение микробов не происходит мгновенно. Для того, чтобы уничтожить микробы при данной температуре стерилизации, необходимо определенное время. Это время носит название *смертельного времени*.

Смертельное время при данной температуре можно, например, определить, погрузив в нагретую до данной температуры среду несколько таких трубочек с микробами, о которых говорилось выше. Вынимая через определенные промежутки времени из нагретой среды по одной трубочке и производя микробиологический анализ, можно установить момент, когда очередная трубочка покажет отсутствие живых спор. Время, протекшее от момента погружения трубочки в нагретую до данной температуры среду до момента, при котором все микробы оказываются уничтоженными, и есть смертельное время при данной температуре.

Задаваясь вопросом о времени, которое необходимо для стерилизации консервов, нужно сказать, что, если бы при погружении банок в стерилизационный аппарат требуемая температура стерилизации создавалась сразу и одновременно во всей массе консерва (подобно тому, как это практически происходило с тонкой стеклянной трубочкой, содержащей взвесь микробов), то установленное «трубочным» методом *смертельное время* при данной температуре и было бы *общим временем* стерилизации для консервной банки.

Однако при стерилизации банок паром или горячей водой заданная температура процесса устанавливается не сразу и не одновременно во всей массе консерва. Передача тепла от греющего агента к консерву идет от периферии банки к ее центру. Сначала

прогреваются слои продукта, находящиеся у поверхности банки, затем тепло проникает постепенно в глубину продукта и, наконец, достигает наиболее отдаленного от периферии места, находящегося вблизи геометрического центра банки.

Таким образом, центральная часть консервной банки, которая считается обсемененной микробами в такой же мере, как и другие участки, начинает стерилизоваться при заданной температуре значительно позже, чем периферийные слои. Следовательно, именно эта центральная часть является наиболее неблагоприятной в смысле возможности выживания в ней микробов.

Поэтому, говоря о смертельном времени для микроорганизмов, имеют в виду микроорганизмы, находящиеся в центральной части банки, а, значит, отсчет этого времени нужно вести с момента достижения заданной температуры стерилизации в центре банки, а не от начала прогрева банки в стерилизационном аппарате.

Тогда в первом приближении общее время стерилизации будет состоять из двух отрезков: времени проникновения тепла в центр банки (имея в виду достижение в центре банки температуры стерилизации) $\tau_{пр}$ и смертельного времени $\tau_{см}$, т. е. времени, которое требуется для уничтожения микроорганизмов, находящихся в центре банки, начиная с того времени, когда в центре банки достигнута заданная температура.

$$\tau_{общ} = \tau_{пр} + \tau_{см}$$

Необходимо оговориться, что такой подсчет времени стерилизации в значительной мере неправилен, так как микроорганизмы, находящиеся в центре банки, начинают погибать не в тот момент, когда в центре достигнута именно заданная температура стерилизации, а несколько раньше, когда центр прогреет до температурного уровня, пусть меньшего, чем заданная температура стерилизации, но все равно смертельного для микробов. Поэтому $\tau_{общ} \neq \tau_{пр} + \tau_{см}$, а меньше суммы $\tau_{пр} + \tau_{см}$. Правильнее всего сказать, что общее время стерилизации является функцией от времени прогрева и смертельного времени: $\tau_{общ} = f(\tau_{пр}, \tau_{см})$.

Итак, для того, чтобы уяснить факторы, от которых зависит общее время стерилизации, нужно рассмотреть в отдельности факторы, определяющие смертельное время и время проникновения тепла в центр банки. Подробный же и точный расчеты необходимого времени стерилизации будут приведены в другом разделе.

1. Факторы, влияющие на смертельное время

Смертельное время зависит от следующих факторов:

- температуры стерилизации;
- химического состава консерва;
- вида микроорганизмов и их количества.

а. Температура стерилизации

Как нельзя говорить о смертельном времени, не учитывая температуру стерилизации, так нельзя говорить и о температуре, необходимой для уничтожения микробов, не связывая ее с временем, необходимым для такой обработки. Какой-то определенной температуры, являющейся смертельной для данного вида микроорганизмов, не существует. Микроорганизмы можно уничтожить при разных температурах, начиная приблизительно с 60°C. Вопрос сводится лишь ко времени, которое требуется для уничтожения микробов при данной температуре. Таким образом, смертельные условия для данного вида микроорганизма нельзя определить одной лишь температурой, а только зависимостью «смертельная температура—время», в которой указаны температура и время выдержки.

Естественно, что зависимость между смертельным временем и температурой обратная, т. е. что с повышением температуры стерилизации смертельное время снижается. Так, по данным А. И. Рогачевой, имеется следующая зависимость между температурой стерилизации и смертельным временем для *Bac. subtilis* и *Bac. botulinus*

Таблица 1

Температура (в°С)	Смертельное время (в мин.)	
	<i>B. subtilis</i>	<i>B. botulinus</i>
100	120	300
105	110	85
110	80	70
115	70	45
120	40	24
125	30	12

Сходные, хотя и отличающиеся, особенно по высоким температурам, данные для спор *Cl. botulinum* получены Эсти и Мейером:

100°C	— 330 мин.
105°C	— 100 »
110°C	— 32 »
115°C	— 10 »
120°C	— 4 »

Из приведенных данных видно, что относительно небольшое повышение температуры стерилизации приводит к резкому снижению смертельного времени.

Если изобразить зависимость «время — температура» для *Cl. sporogenes* и родственных этому виду микробов в линейных координатах, то получится следующая кривая (рис. 1).

Бигелу обратил внимание на то, что если кривые смертельного времени построить на полулогарифмической бумаге, отложив

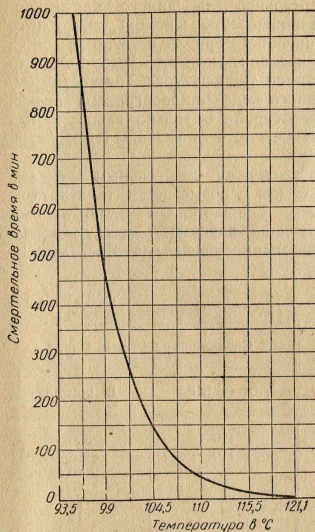


Рис. 1. Кривая смертельного времени для *Cl. sporogenes* в линейных координатах.

на горизонтальной оси температуру в линейных координатах, а на вертикальной — логарифмы значений смертельного времени, то кривые эти выпрямляются. Так, зависимость «смертельное время — температура» для *Cl. botulinum*, выраженная по такой системе, по данным Ч. Болла и многочисленных зарубежных авторов, имеет следующий вид (рис. 2).

Способность кривых смертельного времени выпрямляться при построении их на полулогарифмической бумаге дает возможность характеризовать их простыми аналитическими выражениями.

Представим себе, что нам необходимо вывести уравнение прямой линии, пересекающей обе оси на графике, построенном в полулогарифмической сетке.

Допустим, что мы взяли наклонную прямую линию и, выделив на ней произвольные точки *B* и *M*,

проведем вертикальную ось через точку *M* (рис. 3). При этом надо иметь в виду, что на горизонтальной оси откладывается температура стерилизации в линейных единицах в порядке возрастания слева направо, а на вертикальной — смертельное время в логарифмических единицах в порядке возрастания снизу вверх.

В этом случае координаты точки *B* ($x, \log y$) будут: абсцисса $OP = x$, ордината $BO = \log y$.

Координаты же точки *M*, через которую проведена вертикальная ось, будут: абсцисса — нуль, ордината $MP = \log t$.

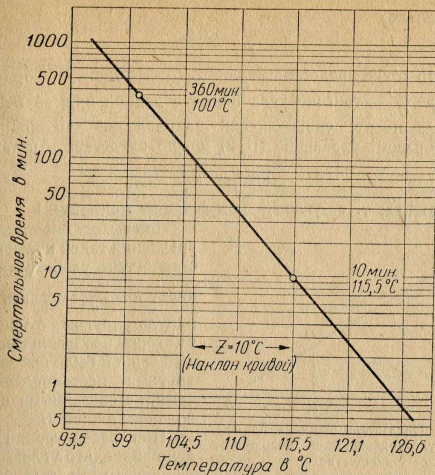


Рис. 2. Кривая смертельного времени для *Cl. botulinum* в полулогарифмических координатах.

При последующем рассмотрении подобных треугольников *BAO* и *MAR* обозначим OA через a , тогда PA будет равно $a - x$. Из правила подобия следует,

что

$$\frac{BO}{MP} = \frac{OA}{PA}, \quad (II, 1)$$

или, подставив принятые обозначения,

$$\frac{\log y}{\log t} = \frac{a}{a - x}.$$

Отсюда

$$\log t = \frac{\log y (a - x)}{a} = \frac{a \log y - x \log y}{a},$$

$$\log t = \log y - \frac{\log y}{a} x;$$

$$\log y - \log t = \frac{\log y}{a} x,$$

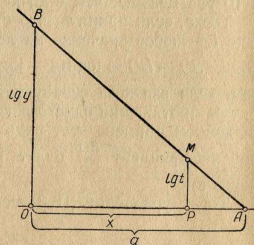


Рис. 3. К выводу уравнения прямой линии на полулогарифмической координатной сетке.

следовательно

$$\log \frac{y}{t} = \frac{\log y}{a} x. \quad (II, 2)$$

Но что такое представляет собою коэффициент $\frac{\log y}{a}$ при x ? Это отношение $\frac{BO}{OA}$ — тангенс угла наклона данной прямой BA , угловой коэффициент, указывающий направление данной прямой. Таким образом, уравнение (II, 2) можно представить и так:

$$\log \frac{y}{t} = kx, \quad (II, 3)$$

где k это $\text{tg } \alpha$, т. е. угловой коэффициент прямой BA .

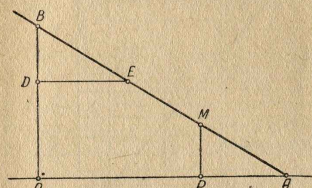


Рис. 4. Показатель наклона прямой на полулогарифмической координатной сетке.

При выводе окончательного уравнения такой прямой представляется удобным коэффициент $k = \frac{\log y}{a}$ выразить каким-нибудь другим отношением, в котором произвольные отрезки $\log y$ и a были бы заменены другими, постоянными отрезками, не связанными с произвольной точкой B .

При рассмотрении рис. 3 ясно видно, что угловым коэффициентом может быть не

только отношение $\frac{\log y}{a}$, т. е. отношение $\frac{BO}{OA}$, но и отношение любых других отрезков, только бы они относились к подобным треугольникам, например отношение $\frac{BD}{DE}$ (рис. 4). При этом точка D выбирается так, что числовое значение в этой точке в 10 раз меньше, чем в точке B .

Тогда, если принять, что отрезок BO это $\log 10l$, а $DO — \log l$ (где l — любое значение на логарифмической сетке ординат), то $BD = BO — DO = \log 10l — \log l = \log \frac{10l}{l} = \log 10 = 1$. Таким образом, если взять за основу тот путь, который прямая BA проходит на протяжении одного логарифмического цикла $\log 10l — \log l$ (в данном примере этот путь представлен отрезком DE), то угловой коэффициент $\frac{BD}{DE}$ будет равняться $\frac{1}{z}$ (если DE обозначить через z).

Тогда уравнение (II, 3) можно записать так:

$$\log \frac{y}{t} = \frac{1}{z} x, \quad (II, 4)$$

или

$$\log \frac{y}{t} = \frac{x}{z}. \quad (II, 5)$$

В этом уравнении:

x — абсцисса любой точки на кривой, т. е. расстояние по горизонтальной оси от какой-то условной точки, через которую проходит вертикальная ось, до любой точки на кривой. Иными словами, x — разность температур между какой-то заранее обусловленной температурой, взятой за мерло для сравнения, и любой другой температурой стерилизации.

y — ордината (обычно искомая) любой точки на кривой смертельного времени, т. е. смертельное время, соответствующее данной температуре в этой любой точке.

t — ордината той точки кривой, которая соответствует определенной, заранее обусловленной точке на горизонтальной оси. Иными словами, t — смертельное время, соответствующее той заранее обусловленной температуре, которая взята за мерло для сравнения (обычно известно заранее).

z — расстояние по оси абсцисс, которое проходит кривая за время, равное одному логарифмическому циклу, z — это разность температур, величина, характеризующая наклон прямой, константа для данного вида микроорганизмов (например, для *Cl. botulinum z* равно 10°C).¹

Уравнение (II, 5) имеет важное практическое значение, ибо оно позволяет, взяв за эталон известное смертельное время, соответствующее какой-нибудь определенной температуре, рассчитать смертельное время для любой другой температуры. При этом уравнение (II, 5) удобно преобразовать так, чтобы сразу определять y .

$$y = t \cdot 10^{\frac{x}{z}}. \quad (II, 6)$$

Пример. Допустим, что смертельное время для какого-нибудь микроба при температуре 120°C равно 4 мин., z равно 10°C ; требуется определить смертельное время для температуры 100°C (рис. 5).

$$y = 4 \cdot 100^{\frac{120-100}{10}} = 4 \cdot 100 = 400 \text{ мин.}$$

Таким образом, получилось, что при понижении температуры стерилизации всего лишь на 20°C смертельное время возросло в 100 раз.

¹ Положение любой прямой не может быть определено одним лишь ее наклоном. Необходимо иметь еще координаты хотя бы одной точки на этой прямой. Так, положение прямой смертельного времени для *Cl. botulinum* характеризуется $z = 10^\circ \text{C}$ и $t = 2,45$ мин. при $121,1^\circ \text{C}$.

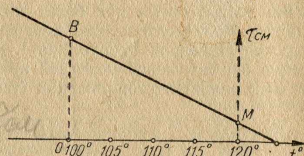


Рис. 5. Пример полулогарифмической кривой смертельного времени.

В связи с тем, что стерилизацию консервов в пределах диапазонов, установленных водородным показателем (80—100° или 100—121° С), можно проводить при разных температурах, изменяя лишь продолжительность процесса, возникает вопрос: что же выгоднее — дольше стерилизовать при низкой температуре или нагревать меньше времени, но при более высокой температуре?

В настоящее время все более укрепляется та точка зрения, что кратковременная стерилизация при высоких температурах меньше отражается на качестве консервов, чем длительная, проводимая при более низких температурах. Как правило, качество консервов при кратковременной высокотемпературной стерилизации улучшается по сравнению с консервами, простерилизованными долгое время при более низкой температуре. По данным Научно-исследовательского пищевого института в Пловдиве (Болгарская Народная Республика)¹, наблюдаются следующие изменения биологической ценности консерва «Зеленый горошек» при разных режимах стерилизации (табл. 2).

Таблица 2

Режим стерилизации		Азотосодержащие составные части в процентах на абсолютно-сухое вещество					Неусвояемый азот в процентах к белковому азоту
общее время нагревания (в мин.)	температура (в °С)	общий азот	усвояемый азот	неусвояемый азот	белковый азот	аминокислотный азот	
185	100	4.43	3.21	1.22	3.07	0.47	39.74
65	115	4.44	3.22	1.22	3.09	0.62	39.48
45	120	4.46	3.48	0.98	3.40	0.68	28.82
35	125	4.44	3.65	0.79	3.47	0.77	22.77
30	130	4.44	3.62	0.82	3.47	0.77	23.62

Данные анализов свидетельствуют о том, что биологическая ценность консервов находилась на самом низком уровне при наиболее низкой температуре стерилизации — 100°, выдержанной в течение самого длительного времени — 185 мин.²

Самые же лучшие данные получены при температуре 125° С, выдержанной в течение 35 мин. Следовательно, при уменьшении продолжительности стерилизации, несмотря на увеличение температуры, получается лучшее сохранение пищевых веществ.

Правда, судя по данным табл. 2, имеется какой-то предел повышения температуры стерилизации, за которым начинается

¹ Доклад проф. Даскалова на международном совещании специалистов по консервному производству 4 апреля 1957 г. (г. Одесса).

² Фактически температура 100° С поддерживалась в автоклаве в течение 160 мин., а 25 мин. ушло на подогрев автоклава до 100° С. Точно так же из 65 мин. прогрева при 115° собственн 115° поддерживалось 40 мин., при 120° — 20 мин. из 45, при 125° — 10 мин. из 35 и при 130° — 5 мин. из 30.

снова снижение качества консерва. Так, при 130° С доля неусвояемого азота выше, чем при 125° С.

Не исключена возможность, что в определенных пределах жесткость стерилизации обуславливается количеством тепла, переданным консерву за данное время нагревания, т. е. пропорционально произведению температуры стерилизации на общее время нагрева:

$$R = At\tau, \quad (II, 7)$$

где

R — жесткость стерилизации;

A — коэффициент пропорциональности;

t — температура стерилизации;

τ — общее время стерилизации (условно равное сумме времени подогрева автоклава до температуры стерилизации и времени выдержки по достижении температуры стерилизации).

Так, например, R для режима стерилизации при 100° С равно $100 \cdot 185 A = 18500 A$, а R для 115°-ного режима равно $65 \cdot 115 A = 7475 A$. Тогда, если сопоставить данные табл. 2 с вычисленными значениями, то получится следующая картина (табл. 3).

Таблица 3

Режим стерилизации		Жесткость стерилизации R (в °С · мин.)	Неусвояемый азот в процентах к белковому азоту
общее время нагревания (в мин.)	температура (в °С)		
185	100	18500 A	39.74
65	115	7475 A	39.48
45	120	5400 A	28.82
35	125	4375 A	22.77
30	130	3900 A	23.62

Отсюда видно, что по мере снижения R снижается и процент неусвояемого азота, т. е. улучшается биологическая ценность консервов. Практически данные, полученные при 125 и 130° С, являются данными одного порядка, так что нельзя сказать, что результаты стерилизации при 130° С хуже, чем при 125° С.

В общем высокотемпературную кратковременную стерилизацию следует предпочесть длительной стерилизации, проводимой при более низких температурах, тем более, что высокотемпературная стерилизация позволяет сократить цикл процесса и тем самым увеличить пропускную способность автоклавов.

Нужно, однако, иметь в виду одно обстоятельство, которое может положить предел снижению времени стерилизации за счет повышения температуры, — это сохранение ферментов. Может быть такой случай, когда уничтожение микроорганизмов при данном режиме стерилизации будет обеспечено, ферменты же из-за сильного снижения времени стерилизации останутся не инакти-

вированными. Несмотря на стерильность, такие консервы не будут стойкими при хранении и могут подвергнуться ферментативной порче¹. Этот вопрос в настоящее время изучен недостаточно.

б. Химический состав консервов

Даже для какой-нибудь определенной температуры смертельное время не является одинаковым для микробов, находящихся в разных продуктах. Нельзя говорить о смертельном времени при данной температуре безотносительно к той среде, в которой находятся микробы.

Выше было отмечено влияние кислотности среды на развитие микроорганизмов. Можно сказать, что из нескольких факторов внешней среды, которые влияют на термоустойчивость микробов, концентрация водородных ионов нагреваемой среды является самой главной.

По данным Баумгартнера, максимальная термоустойчивость спорообразующих бактерий проявляется в нейтральной области при pH 6—7, быстро снижаясь по обе стороны этой области. Так, Эсти и Мейер обнаружили, что максимальная термоустойчивость *Cl. botulinum* бывает при pH 6,3—6,9. Вильямс заметил, что споры *B. Subtilis* являются наиболее устойчивыми между pH 6,8—7,6. Дрожжи, которые изучались Бимером и Таккером, показали большую устойчивость при pH 6,8, чем при pH 3,8.

Нужно, однако, сказать, что, несмотря на справедливость этого общего правила (т. е. правила обратной зависимости между активной кислотностью среды и смертельным временем), в целом оно все же оказывается верным не при всех диапазонах pH. Так, Эсти и Мейер утверждают, что при pH выше 5,0 какой-то еще другой фактор, кроме концентрации водородных ионов, оказывает сильнейшее влияние на смертельное время. Ланг, изучая режимы стерилизации рыбных продуктов, не нашел определенной зависимости между pH и смертельным временем для спор *Cl. botulinum* в интервале 5,2—6,8. Правда, при pH 4,9 наблюдалось заметное снижение термоустойчивости. Говард приводит данные Вейса (рис. 6), из которых видно, что термоустойчивость микроорганизмов при более высоких значениях pH бывает иногда меньше, чем при более низких.

По данным А. Рогачевой, немалое влияние на термоустойчивость микробов оказывает не только активная кислотность среды, но и природа самой кислоты. Так, наибольшим обеспоживающим действием обладает молочная кислота, а затем яблочная. Не-

¹ Известно, что консервы только тогда устойчивы при хранении, если в них отсутствуют микроорганизмы и разрушены находившиеся ранее в сырье ферменты. Если ферменты не инактивированы, то они катализируют нежелательные химические процессы, сопровождающиеся появлением в продукте неприятных привкусов и запахов.

сколько слабее действуют на бактерии уксусная кислота и лимонная.

Из других элементов химического состава консервов наибольшее влияние на смертельное время оказывают антибиотические вещества растительного происхождения — фитонциды. Работами А. Рогачевой с сотрудниками установлено, что время, необходимое для стерилизации консервов, снижается при добавлении

ПРОДУКТЫ	рН	Выдержка в минутах			
		30	60	90	120 150 180
Крыжовник	3,00				
Малина	3,16				
Земляника	3,22				
Яблони	3,24				
Кислая капуста	3,56				
Вишни	3,30				
Сливы	3,30				
Томатная	3,40				
Черная смородина	3,85				
Яблочки	3,62				
Персики	3,70				
Томат барбателли	3,70				
Яблони	4,10				
тыква	4,22				
Томаты	4,40				
Яблоки	5,00				
Сельдь	5,15				
Сардина	5,16				
Восковая фасоль	5,22				
Сладкий горошек	5,30				
Квашенки	5,30				
Сладкий картофель	5,36				
Стручковая фасоль	5,40				
Свиная и бобы в томат соусе	5,40				
Шпинат	5,40				
Бразильская капуста	5,40				
Свиная и бобы в простом соусе	5,60				
Красная фасоль	5,70				
Лима бобы	5,77				
Нюккола с бобами и свиной	6,00				
Сахарная кукуруза	6,21				
Отварные моллиски	6,26				
Кабачки	7,00				
Макаронны	7,40				

Рис. 6. Зависимость смертельного времени для *Cl. botulinum* при 100°C от pH.

в эти консервы таких богатых фитонцидами овощей или растений, как лук, томаты, перец, чеснок, морковь и белые корнеплоды, ревеня, сухие пряности и горчица. В ряде случаев оказывается более эффективным добавлять не растения, а приготовленные из них концентраты фитонцидов или фитонцидные фракции. Например, вместо того, чтобы добавлять томатный соус, можно добавлять фитонцидный концентрат томатов, называемый ликоперисинном, или томатинном, а вместо горчицы — действующее начало этого растения — аллиловое масло. По данным А. Рогачевой, добавление аллилового масла в количестве нескольких миллионных долей к маринадам позволяет не только снизить продолжительность стерилизации этих консервов, но и вовсе

обойтись без тепловой стерилизации. Результаты исследований А. Рогачевой позволили пересмотреть режимы стерилизации некоторых овощных консервов (овощи фаршированные, обеденные первые блюда), при установлении которых фитонцидная активность овощей не принималась прежде во внимание, и сделать эти режимы менее продолжительными.

Весьма значительное влияние на смертельное время оказывают жиры, однако, в отличие от кислот и фитонцидов, жиры не понижают, а повышают термоустойчивость микроорганизмов. Защитное действие жиров принято в настоящее время объяснять, исходя из физико-химических превращений, происходящих на границе двух различных гетерогенных жидкостей: белковый коллоидный раствор (микробная клетка) — жир. Как известно, при соприкосновении различных гидрофильных коллоидов (белков, сапонинов, мыл и т. п.) с жиром на границе двух фаз почти мгновенно образуется своего рода коагуляционная пленка, основательно изолирующая эти фазы друг от друга. Если капелька жира попадает в водный белковый раствор, то она сразу окружается белковой пленкой; если капелька белкового коллоидного раствора попадет в жир,

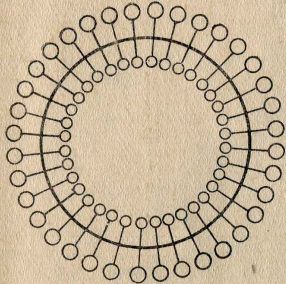


Рис. 7. Схема полярно-молекулярной «конденсации» вокруг бактериальной клетки.

то эта капелька тоже сразу же будет окружена плотным межфазным чехлом.

Эти межфазные чехлы представляют собой полярные молекулы, которые, как всегда, строго ориентируются на поверхности двух фаз, направляясь в данном случае друг к другу своими гидрофобными концами. Схема такой полярно-молекулярной «конденсации» вокруг бактериальной клетки показана на рис. 7.

Наличие плотного гидрофобного чехла вокруг бактериальной клетки препятствует подходу влаги к ней и затрудняет тем самым коагуляцию белков, являющуюся, как известно, гидратационной реакцией. Термическая обработка микробной клетки в таких условиях напоминает обработку «сухим жаром», к которому микроорганизмы более устойчивы, чем к «влажному».

Поэтому в консервах, содержащих много жира (например, рыбные консервы в масле), всегда возможно выживание отдельных бактериальных спор, окруженных таким гидрофобным жирным чехлом; следовательно, такие консервы нужно стерилизовать дольше, чем консервы, не содержащие жира.

Определенное влияние на смертельное время оказывают сахар и сахарные сиропы. Многие ученые обратили внимание на то, что сахар оказывает защитное влияние на микробы при нагревании среды. Так, Петерсон, Левин и Буханан нашли, что дрожжи легче погибают при 100°С в дистиллированной воде, чем в сиропе; смертельное же время в сиропе крепостью 24° Боме оказалось гораздо меньше, чем в сиропе, крепость которого составляла 36° Боме (соответственно 6 и 28 мин.). Баумгартнер и Уоллес обнаружили, что выживаемость микроба *Escherichia coli* при 70°С возросла при переходе от воды к 10%-ному сахарному сиропу от 4 до 6 мин.; при концентрации же сахара в 30% смертельное время увеличилось до 30 мин. В литературе не предлагаются каких-либо объяснений этому явлению, но можно предположить, что в сахарных сиропах происходит осмотическое отсасывание влаги из микробной клетки и что именно пониженное содержание влаги делает микробную клетку более устойчивой к нагреванию.

Небольшие концентрации соли в пищевых продуктах влияют на микроорганизмы при нагревании защитным образом, в то время как повышенное содержание соли способствует быстрейшему уничтожению микроорганизмов. Так, Вильжуан приводит следующие данные о выживаемости микроорганизмов в рассоле консерва «зеленый горошек» при 115°С (табл. 4).

Таким образом, в этих опытах соль оказала защитное действие в концентрации до 2,5% включительно, после чего последовало резкое снижение термоустойчивости. Эсти и Мейер отметили, что 1—2%-ные концентрации соли увеличивают термоустойчивость *Cl. botulinum*, но при содержании соли свыше 8% смертельное время снижалось. По данным Хиддла, смертельное время для *Clostridium Welchii* в 3%-ном солевом растворе было больше, чем в воде. При выдерживании же в 10%-ном растворе наблюдалось значительное понижение смертельного времени. По-видимому, в небольших концентрациях соль осмотически отсасывает влагу из микробной клетки и тем повышает ее устойчивость к нагреванию. При повышенных же концентрациях соли начинают проявляться электролитические высаливающие действие хлористого натрия, в результате чего склонность белков протоплазмы к коагуляции возрастает и смертельное время уменьшается.

Таблица 4

Концентрация соли (в %)	Выживаемость (в %)
—	15,0
0,5	37,8
1,0	86,7
1,5	73,3
2,0	75,6
2,5	78,9
3,0	40,0
4,0	13,3

в. Вид микроорганизмов и их количество

Смертельное время в сильнейшей мере зависит от характера микрофлоры, могущей развиваться в данном консерве, так как способность переносить нагревание у разных микробов неодинакова.

Если вести нагревание разных микробов при одной и той же температуре и одинаковой кислотности среды, то бесспорные бактерии погибают гораздо быстрее, чем спорообразующие. Некоторые ученые объясняют это тем, что споры бактерий содержат мало воды, а в условиях малого содержания влаги, как уже отмечалось, затрудняется процесс коагуляции белков, вызывающий смерть бактериальной клетки при нагревании. Другие исследователи показали (Баумгартнер, ссылаясь на данные Фридмана и Генри), что *общее* содержание влаги как в вегетативной клетке, так и в споре примерно одинаково. Поэтому, говоря о малом содержании влаги в спорах, следует иметь в виду не общую, а *свободную* влагу. Таким образом, все дело в том, что большая часть влаги в споре находится в связанном состоянии и, следовательно, не может принять участия в коагуляции клеточных протеинов. С другой стороны, устойчивость спор к нагреванию объясняется наличием у них плотной водонепроницаемой оболочки, не пропускающей окружающую влагу внутрь споры.

Смертельное время для большинства бесспорных бактерий составляет несколько минут при температуре 60—80°С. Наибольшее смертельное время обнаружено у *Vac. coli* — 15 мин. при 80°С. Гораздо длительнее смертельное время для спорообразующих микробов. Так, по данным А. Рогачевой, смертельное время при 100°С составляет для спор:

<i>B. Subtilis</i>	— 120 мин.
<i>B. mesentericus</i>	— 110 »
<i>B. botulinus</i>	— 150 »
(штамм <i>B</i>)	
<i>B. botulinus</i>	— 300 »
(штамм <i>A</i>)	

Бигелу и Эсти заметили, что некоторые термофильные микроорганизмы выдерживают непрерывное кипячение в кукурузном соке при pH 6,1 в течение 24 часов. Донк сообщил, что смертельное время для одного из плоскокислых термофилов при pH 6,1 и температуре 120°С (248°Ф) составляет 11 мин., а Вильямс, Мерилд и Камерон нашли, что смертельное время для одного из микробов, относящихся к этой же группе, составляет при 120°С в буферной среде (pH 6,95) 35 мин.

Изучая гибель микроорганизмов под влиянием нагревания, исследователи пришли к убеждению, что с физико-химической стороны процессы, вызывающие смерть микробной клетки, представляют собой мономолекулярную реакцию и что, следовательно, скорость уничтожения микробов поддается математическому ана-

лизу, справедливому для реакции первого порядка. Исходя из этой предпосылки, можно записать, что

$$-\frac{dB}{dt} = kB, \quad (II, 8)$$

где

B — концентрация микроорганизмов в какой-то момент времени;

k — коэффициент скорости уничтожения микробов, имеющий размерность, обратную времени, т. е. $\frac{1}{\text{мин.}}$;

$-\frac{dB}{dt}$ — истинная скорость уничтожения микробов, представляющая собою производную концентрации микроорганизмов по времени. Знак «минус» при производной указывает, что при нагревании концентрация микроорганизмов уменьшается. Следовательно, в каждый последующий промежуток времени концентрация микроорганизмов будет меньше, чем в предыдущий, и бесконечно малое «приращение» dB микроорганизмов за бесконечно малый промежуток времени dt имеет отрицательный характер, а значит, и производная $\frac{dB}{dt} < 0$.

Разделяя переменные в уравнении (II, 8)

$$-\frac{dB}{B} = kdt \quad (II, 9)$$

и интегрируя его, получим

$$\begin{aligned} \frac{dB}{B} &= -kdt; \\ \int \frac{dB}{B} &= \int -kdt; \\ \ln B &= -kt + C. \end{aligned}$$

Обозначая через B_0 начальную концентрацию микроорганизмов (при $t = 0$), находим постоянную интегрирования $C = \ln B_0$. Отсюда

$$\ln B = -kt + \ln B_0,$$

или

$$\ln B_0 - \ln B = kt,$$

откуда

$$\ln \frac{B_0}{B} = kt.$$

Если обозначить начальную концентрацию микроорганизмов через B , а конечную — через b , то

$$\ln \frac{B}{b} = kt. \quad (II, 10)$$

Это уравнение принято выражать в такой форме:

$$k = \frac{1}{t} \log \frac{B}{b}. \quad (\text{II, 11})^1$$

Из уравнения (II, 11) видно, что скорость уничтожения микроорганизмов подчиняется логарифмическому закону, и что она зависит от концентрации микроорганизмов.

Проанализируем полученные зависимости. Из уравнения (II, 10) получается, что

$$B = b 10^{kt}, \quad (\text{II, 12})$$

а

$$b = \frac{B}{10^{kt}}, \quad (\text{II, 13})$$

или

$$\frac{b}{B} = \frac{1}{10^{kt}}. \quad (\text{II, 14})$$

Но что представляет собой константа скорости уничтожения микробов, от каких факторов она зависит? Из всего того, что было приведено выше, можно заключить, что эта константа зависит от каких-то индивидуальных особенностей микробов, возможно, — от количества содержащейся в них «связанной» воды S , от реакции и других особенностей химического состава среды A и от температуры стерилизации T . Следовательно

$$k = f(S, A, T). \quad (\text{II, 15})$$

Тогда уравнение (II, 13) примет такой вид:

$$b = \frac{B}{10^{f(S, A, T)t}}, \quad (\text{II, 16})$$

а уравнение (II, 14) преобразуется в

$$\frac{b}{B} = \frac{1}{10^{f(S, A, T)t}}. \quad (\text{II, 17})$$

Рассматривая уравнение (II, 16), можно сказать, что при данных условиях стерилизации (т. е. при данном продукте, температуре и времени стерилизации) количество выживающих микробов к концу процесса зависит от начальной их концентрации. Чем начальная концентрация меньше, тем меньше микробов остается в консерве после стерилизации.

Из уравнения (II, 17) видно, что, во-первых, доля выживающих микробов $\frac{b}{B}$ находится в обратной зависимости от их не-

¹ Фактически, переходя от уравнения (II, 10) к уравнению (II, 11), нужно было бы принять другое обозначение константы, например, k_1 , ибо в уравнении (II, 11) в значении константы учтен переводной коэффициент натуральных логарифмов в десятичные.

термостойкости S , от бактерицидных свойств консерва A , от температуры T и времени стерилизации t . Таким образом, уравнение (II, 17) указывает на все факторы, от которых зависит гибель микроорганизмов.

Во-вторых, из уравнения (II, 17) следует, что, поскольку в левой части его содержится отношение концентраций, постольку изменение обеих концентраций в одинаковое число раз не должно отразиться на промежутке времени. При прочих равных условиях требуется одинаковое время для доведения первоначальной концентрации микроорганизмов от 10000 до 100, от 1000 до 10 и от 100 до 1. Другими словами, если в одном опыте концентрация микроорганизмов через n минут станет в 100 раз меньше начальной, то и в других опытах (при других начальных концентрациях) при данных условиях она за n минут тоже уменьшится в 100 раз. Это означает, что за одинаковые промежутки времени уничтожается одинаковая доля данного в начале опыта количества микроорганизмов. Так, если за первые 10 мин. уничтожается 20% исходного количества микроорганизмов, то за следующие 10 мин. будет уничтожено 20% от оставшихся 80% исходного количества микробов.

Наконец, в-третьих, рассмотрение уравнения (II, 17) позволяет сделать парадоксальный, на первых порах, вывод, что доля выживающих микроорганизмов $\frac{b}{B}$ может по мере удлинения процесса стерилизации все уменьшаться и уменьшаться, но никогда не превратится в нуль. Иными словами, выходит, что полностью уничтожить все микроорганизмы в консервной банке невозможно. В дальнейшем будет показано, что это неприятное заключение на самом деле, при соблюдении определенных условий, не грозит здоровью потребителя никакими опасностями.

Наконец, выведенные зависимости позволяют, зная значение смертельного времени для одной какой-нибудь начальной концентрации микроорганизмов, рассчитать смертельное время для другой концентрации.

Из выражения (II, 10) можно определить время t :

$$kt = \log \frac{B}{b}, \quad a$$

$$t = \frac{1}{k} \log \frac{B}{b}. \quad (\text{II, 18})$$

Допустим теперь, что имеются две банки с разной начальной концентрацией микроорганизмов B_1 и B_2 , причем $B_1 > B_2$. Допустим далее, что обе банки стерилизуют так, что конечная концентрация микробов в них b будет одинаково ничтожна. Тогда смертельное время для первой банки будет

$$t_1 = \frac{1}{k} \log \frac{B_1}{b} = \frac{1}{k} (\log B_1 - \log b),$$

а для второй

$$t_2 = \frac{1}{k} \log \frac{B_2}{b} = \frac{1}{k} (\log B_2 - \log b).$$

Тогда отношение смертельных времен составит

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{\log B_1 - \log b}{\log B_2 - \log b}. \quad (II, 19)$$

Поскольку величина b ничтожно мала по условию, то $\log b$ будет и того меньше, поэтому можно пренебречь его значением в уравнении (II, 19), которое в этом случае примет вид

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{\log B_1}{\log B_2}. \quad (II, 20)$$

Приведенные вычисления подтверждаются данными многочисленных экспериментальных исследований. Так, А. Рогачева приводит следующие сведения из работ иностранных авторов о влиянии числа спор на стерилизацию (табл. 5)

Таблица 5

№ культуры	Число спор в 1 см ³	Время, требуемое для разрушения спор при 115°С (в мин.)
26	46 000	65
	4300	35
	400	28
	40	22
4019	35 000	42
	2550	26
	278	21
	58	10
4112	35 000	50
	1000	28
	100	18
	13	10

Из таблицы видно, что с уменьшением концентрации микроорганизмов смертельное время тоже уменьшается.

Нередко порча консервов вызывается сильным обсеменением сахара, входящего в рецептуру продукта. Так, Баумгартнер сообщает о таких данных Камерона и Иезера, которые они получили при исследовании причин порчи кукурузных консервов, содержащих сахарный сироп (табл. 6).

Во многих случаях экспериментальные данные совпадают с расчетными, полученными по формуле (II, 20). Так, если взять

Таблица 6

Время стерилизации при 121,1°С (250°Ф)	Процент порчи кукурузных консервов		
	без сахара	с сахаром А ¹	с сахаром А ²
70 мин.	0	0	95,8
80 »	0	0	75,0
90 »	0	0	54,2

Примечание: Сахар А¹ содержал приблизительно 60 «плоскоислых» спор в 10 г, а сахар А² — около 2500 спор.

отношение логарифмов начальной и конечной концентрации спор культуры № 26 (табл. 5) и сопоставить с отношениями смертельных времен, то получится:

$$\frac{\log 46000}{\log 40} = \frac{4,66}{1,6} = 2,92;$$

отношение же смертельных времен составляет

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{65}{22} = 2,95.$$

Или, скажем, для культуры № 4112

$$\frac{\log 1000}{\log 100} = \frac{3}{2} = 1,5.$$

Отношение смертельных времен в этом диапазоне

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{28}{18} = 1,55.$$

Для этой же культуры

$$\frac{\log 100}{\log 13} = \frac{2}{1,11} = 1,8,$$

а отношение смертельных времен

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{18}{10} = 1,8.$$

В то же время нужно отметить, что такое совпадение получается не всегда, что особенно заметно при обработке данных для культуры № 4019.

Вернемся теперь к вопросу о логарифмическом порядке гибели микробов при нагревании и рассмотрим в связи с этим выражение (II, 10)

$$kt = \log \frac{B}{b}.$$

В этом выражении величина k , обозначающая константу скорости уничтожения микробов, имеет размерность, обратную времени, т. е. $\frac{1}{\text{мин}}$. Отсюда следует, что эту константу можно записать и в таком виде:

$$k = \frac{1}{Z}. \quad (II, 21)$$

где Z — какой-то постоянный промежуток времени, соответствующий

ющий константе k . Тогда выражение (11, 10), если заменить в нем k через $\frac{1}{Z}$, примет такой вид:

$$\frac{t}{Z} = \log \frac{B}{b}. \quad (11, 22)$$

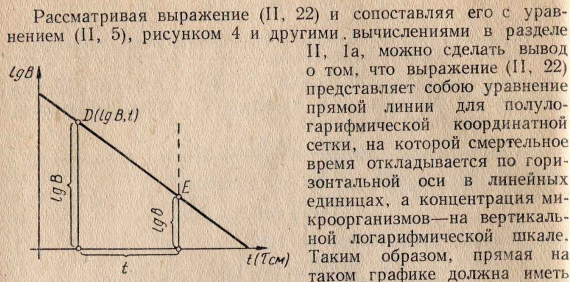


Рис. 8. Зависимость «смертельного» времени — концентрация микроорганизмов» в полулогарифмических координатах.

времени, требуемому для доведения концентрации спор до какого-то весьма малого значения b , то координаты любой точки D на этой прямой x и y будут: $x = t$, $y = B$.

Так же, как и прямая смертельного времени, данная прямая характеризуется уравнением типа: $y = kx + b$ или конкретно для данного случая — $\log B = kt + \log b$, или $\log B = \frac{1}{Z}t + \log b$. Следовательно, в уравнении $\frac{t}{Z} = \log \frac{B}{b}$, $\frac{1}{Z}$ представляет собой угловой коэффициент прямой, тангенс угла наклона ее к горизонтальной оси.

Если учесть все то, что в аналогичном примере было обсуждено в разделе II, 1а, то ясно, что в данном случае Z представляет собой отрезок времени в минутах, на протяжении которого прямая проходит один логарифмический цикл, отсчитываемый на логарифмической оси концентрации микроорганизмов от $\log 10 B$ до $\log B$, где B — любое значение концентрации.

Таким образом, величина Z , как и величина k , является вполне определенной константой, характеризующей скорость уничтожения данного вида микроорганизмов при данных условиях стерилизации (температуры, среды) в зависимости от их концентрации.

Типичная кривая скорости уничтожения микроорганизмов показана на рис. 9.

При прохождении одного логарифмического цикла количества микроорганизмов уменьшается в 10 раз, т. е. по окончании этого цикла остается 1/10, т. е. 10% первоначального количества

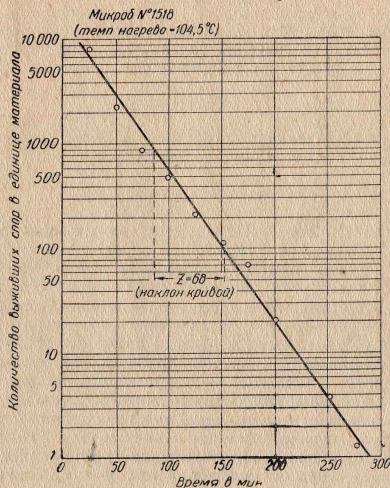


Рис. 9. Кривая скорости уничтожения микроба № 1518 при 104,5°C в полулогарифмических координатах.

ва микробов, или, что одно и то же, уничтожается 90% того количества микроорганизмов, которое было в начале логарифмического цикла. Как указывает Стамбо (Stumbo), если начать с концентрации спор в 1 млн., то скорость уничтожения их в зависимости от Z может быть представлена следующим образом:

Время в единицах Z	Количество микроорганизмов
0	1 000 000
1	100 000
2	10 000
3	1 000
4	100
5	10
6	1

Из уравнения (11, 22) следует, что

$$t = Z \log \frac{B}{b}, \quad (11, 23)$$

или

$$t = Z (\log B - \log b). \quad (11, 24)$$

По этому уравнению, зная Z , можно вычислять смертельное время для определенных значений начальной и конечной концентраций. Стамбо предложил пользоваться уравнением (11, 24) в таком виде:

$$t = Z (\log B + p), \quad (11, 25)$$

где p — логарифм величины, обратной количеству микробов в конце периода t (т. е. e . Стамбо записал уравнение (11, 25) так:

$$t = Z (\log B + \log \frac{1}{b}), \text{ обозначив } \log \frac{1}{b} \text{ через } p.)$$

Уравнения (11, 24) и (11, 25) дают возможность по-новому взглянуть на данные, получаемые при определении смертельного времени, и на само понятие «смертельное время». Стамбо, цитируя Рана, отмечает, что данные о смертельном времени, которые можно встретить в литературе, не представляют собой каких-то точных значений. При определении смертельного времени, например, трубочным методом, всегда проходит какое-то время между моментом, когда последняя трубочка еще показала наличие живых спор, и моментом, когда в первой из последующих трубочек уже не обнаружено ничего живого. Очевидно, за этот промежуток времени концентрация выживших микробов понизилась до уровня, который является меньшим, чем одна спора на трубочку. Ясно также и то, что в опытах разных исследователей над определенными микробами количество выживших спор было в какой-то момент между этими двумя критическими точками одним и тем же, но именно этот момент не известен. Во всех имеющихся данных о смертельном времени кроется доля какой-то погрешности, величина которой зависит от применяемого в опытах промежутка времени для отбора проб. *Количество выживших микробов никогда не равно нулю, но становится очень малым, т. е. 1 на 100 л, 1 на 1000 л. и т. д.*

Таким образом, точность получаемых результатов при определении смертельного времени зависит от дробности промежутка времени при отборе проб и от количества проб, которые параллельно отбираются каждый раз, когда делается анализ. Все сказанное лучше уяснить на конкретном примере анализа каких-то экспериментальных данных.

Рассмотрим результаты, полученные Стамбо при определении смертельного времени одной из рас анаэробных гнилостных микроорганизмов № 3679 при температурах 121,1°С (250 Ф) и 126,7°С (260 Ф).

Количество образцов, которое испытывалось при каждом отборе проб	При 121,1°С ¹		При 126,7°С ²	
	Время нагревания (в мин.)	Количество образцов, которые дали рост при последующем выращивании на питательной среде	Время нагревания (в мин.)	Количество образцов, которые дали рост при последующем выращивании на питательной среде
12	1,00	12	0,30	12
12	2,00	12	0,60	12
12	3,00	12	0,90	12
12	4,00	10	1,20	8
12	5,00	3	1,50	1
12	6,00	0	1,80	0
12	7,00	0	2,10	0
12	8,00	0	2,40	0
12	9,00	0	2,70	0

Примечание¹. В каждом образце исходное количество спор составило 6250.

² Исходное количество спор в каждом образце составляло 5000.

Если рассмотреть эти данные без учета концентрации спор, то можно сделать заключение о том, что смертельное время при 121,1°С составляет 6 мин., а при 126,7°С — 1,8 мин. Однако с позиций уравнений (11, 24) или (11, 25) смертельное время можно уточнить. Возьмем первую партию образцов, стерилизовавшуюся при 121,1°С. Поскольку отбор проб производился каждую минуту, причем каждый раз отбиралось 12 образцов, содержащих первоначально по 6250 спор, постольку общее количество спор, подвергнувшееся тепловой обработке в течение данного промежутка времени, составляло 75 000. Пользуясь таблицей, можно вычислить значение Z для 5 минут нагревания по формуле

$$Z = \frac{t}{\log B + P} \quad (11, 26)$$

В данном случае $B = 75\,000$, $t = 5$, $P = \log \frac{1}{b} = \log \frac{1}{3}$ (считая, что в каждом из 3 образцов, давших рост, уцелело по одной споре).

$$Z = \frac{5}{75\,000 + (\log 1 - \log 3)} = 1,137 \text{ мин.}$$

Зная наклон прямой для данной температуры, можно найти количество микроорганизмов, какое уцелело через 6 мин., которые мы считаем смертельным временем, т. к. через 6 мин. ни в одном

из 12 образцов не было найдено ни одной споры. Уравнение (II.25) может быть преобразовано так, чтобы из него было удобно определять P :

$$P = \frac{t}{Z} - \log B. \quad (\text{II.27})$$

Подставляя в это уравнение найденное ранее значение Z , вычисляем P :

$$P = \frac{6}{1,137} - \log 75000 = 0,404.$$

Итак, $\log \frac{1}{b} = 0,404$, $\frac{1}{b} = 2,536$, а $b = \frac{1}{2,536}$.

Это означает, что количество выживших спустя 6 мин. спор не равно нулю, а составляет одну спору на 2,536 объема продукта, причем каждый из этих объемов первоначально содержал 75 000 спор. Иными словами, концентрация спор спустя 6 мин. составляет одну из $75\,000 \times 2,536$, т. е. одну спору из 190 000. Отсюда становится понятно, почему в нашем опыте спустя 6 мин. не найдено ни одной споры: в опыте было только 75 000 спор, распределенных в 12 параллельных образцах. Значит мы могли бы найти эту одну спору только в том случае, если бы у нас было больше исходного материала, по крайней мере $190\,000 : 6250 = 30$, вместо взятых 12 образцов.

Точно так же можно обработать данные для температуры 126,7° С. Исходя из того, что в каждом образце было 5000 спор, общее количество микробов, которое каждый раз подвергалось тепловой обработке в течение заданного промежутка времени, будет равно 60 000. Если считать, что теоретически через 1,2 мин. остается 8 спор (по одной в каждом из 8 образцов, давших рост), то величина Z по формуле (II.26) будет равна:

$$Z = \frac{1,2}{\log 60000 + (\log 1 - \log 8)} = 0,31.$$

Тогда, воспользовавшись уравнением (II.27), находим количество выживших спустя 1,5 мин. спор:

$$P = \frac{1,5}{0,31} - \log 60\,000 = 0,06064.$$

Отсюда $\frac{1}{b} = 1,15$; количество выживших спор составляет не одну на 1 объем, как показано в опыте, а одну на 1,15 объема. Таким образом, мы уточнили данные опыта.

Что касается цифры смертельного времени — 1,8 минуты, при которой якобы вовсе отсутствуют споры, то аналогично проведенный расчет дает

$$P = \frac{1,8}{0,31} - \log 6000 = 1,22.$$

Отсюда $\frac{1}{b} = 16,6$, а концентрация выживших спор b равна одной споры на 16,6 объема, каждый из которых содержал по 60 000 спор, или же приблизительно одну спору из 1 000 000. Следовательно, мы могли бы найти эту одну спору спустя 1,8 мин. нагрева только в том случае, если бы у нас первоначально было не 12 образцов, а $1\,000\,000 : 5000 = 200$ образцов.

Итак, такой категории, как абсолютное смертельное время, не существует. Смертельным временем можно назвать время, которое требуется для доведения первоначальной концентрации микроорганизмов до какого-то заранее установленного и, конечно, очень малого уровня. Возникают вопросы: 1) до какого же именно уровня нужно доводить концентрацию микроорганизмов, чтобы можно было совершенно не опасаться возможности отравления консервами? 2) что следует принимать за начальную концентрацию спор? 3) насколько надежными являются данные о смертельном времени при разных температурах, которые могут быть положены в настоящее время в основу установления режимов стерилизации?

Прежде всего остановимся на начальной концентрации спор. Поскольку цель нагрева заключается в стерилизации консервной банки, то, говоря о начальной концентрации, следует иметь в виду только концентрацию наиболее термоустойчивых и опасных микроорганизмов в консерве, а не общее число микробных клеток всех типов, которые могут оказаться в банке. В консерве до его стерилизации может находиться одновременно много видов бактерий. Термоустойчивость этих видов может быть очень невелика, сравнительно с термоустойчивостью наиболее стойких типов, и поэтому тепловой процесс, рассчитанный на освобождение продукта от наиболее термоустойчивых форм, будет, как правило, достаточным для полной стерилизации консерва.

Как указывает Стамбо, выбор начальной концентрации микроорганизмов является в значительной мере произвольным, т. к., по-видимому, нет правила, которым можно было бы руководствоваться при оценке количества данного вида микроорганизмов, которые могут находиться в единице объема данного продукта. Это число зависит от многих переменных факторов. Некоторые виды бактерий, например *Cl. sporogenes*, при выращивании в виде чистой культуры могут дать несколько миллионов спор на 1 г продукта. Общее же число клеток, вегетативных и спорных, доходит в таких условиях до нескольких миллиардов, но такой обильный рост всегда сопровождается явственными признаками сильного порчи продукта. Поэтому такое количество микробов нельзя принимать в качестве начальной концентрации в наших расчетах. Кроме того, данный вид микробов никогда, очевидно, не бывает в продукте в виде чистой культуры. Обычно микрофлора пищевых продуктов до их стерилизации состоит из многих различных видов, которые при благоприятных для роста условиях постоянно борются друг с другом. Отсюда, количество микробных

клеток одного какого-либо типа представляет собой обычно только малую долю от общего количества микроорганизмов, находящихся в продукте. Количество же *термоустойчивых* спор любого вида микробов представляет собой еще меньшую долю от общего количества клеток. Поэтому можно сказать, что хотя консерв до стерилизации может содержать несколько миллионов бактериальных клеток, количество спор, которое нужно принимать в расчет для установления режима стерилизации, будет относительно невелико.

Допустим, в порядке иллюстрации к сказанному, что консерв содержит 100 млн. бактериальных клеток в 1 г. По всей вероятности, среди них будет не меньше 100 различных видов. Практика показывает, что среди имеющихся в консерве разных микробов, очень термоустойчивые виды преобладают редко. Из этого числа только лишь небольшой процент находится в спорообразном состоянии. Говоря же о *Cl. botulinum*, являющемся одной из самых термоустойчивых бактерий, нужно иметь в виду, что вероятность нахождения его в продукте весьма невелика. Уже тот факт, что *Cl. botulinum* трудно выделить из пищевых продуктов, указывает на то, что если он и находится в консерве, то в очень незначительной концентрации, порядка 10 спор на 1 г. Будет, по-видимому, также справедливым предположить, что количество консерва, которое находится в самом неблагоприятном месте банки, вблизи геометрического ее центра, и на которое следует вести расчет при стерилизации, составляет не более 10 г. Тогда получается, что при расчете *выживаемости микробов следует исходить из начальной концентрации* 100 спор *Cl. botulinum* на банку.

Перейдем теперь к *конечной концентрации* микроорганизмов. Пусть она никогда не равна нулю, но какие-то смертельные точки нужно ведь, так или иначе, принять для практических целей? Какие же это должны быть величины: одна спора в единице объема продукта, одна — в 10 единицах, одна — в 100 единицах, одна — в 1000 единицах или сколько?

Для того, чтобы ответить на этот вопрос, допустим, что мы хотим выяснить степень выживаемости микробов *Cl. botulinum* в консервной банке, стерилизуемой при 121,1°C при условии, что в центре этой банки находится 100 спор и что банка мгновенно нагревается до 121,1°C, выдерживается при этой температуре в течение заранее установленного смертельного времени и мгновенно охлаждается до сублетальной температуры. Смертельное время при этой температуре, установленное в свое время Эсти и Мейером, составляло 2,78 минуты. Позднее это значение уточнили и теперь считают, что оно равно 2,45 минуты. Пользуясь данными исследований Эсти и Мейера, найдем величину наклона кривой скорости уничтожения *Cl. botulinum* при 121,1°C. При установлении величины смертельного времени Эсти и Мейер нагревали в трубках суспензии микробов при начальной концен-

трации в 60 000 000 000 спор на трубочку, доводя ее до одной споры на 10 трубок. Отсюда по уравнению (11, 26)

$$Z = \frac{t}{\log B + P},$$

в данном случае $t = 2,45$, $B = 60\,000\,000\,000$,

$$P = \log \frac{1}{b} = \log \frac{1}{0,1} = \log 10 = 1.$$

Следовательно

$$Z = \frac{2,45}{\log 60\,000\,000\,000 + 1} = \frac{2,45}{10,778 + 1} = 0,208.$$

Подставив это значение Z в уравнение (11, 27), найдем степень выживаемости микробов в данной консервной банке:

$$P = \frac{t}{Z} - \log B = \frac{2,45}{0,208} - \log 10 = 11,7788 - 2 = 9,7788;$$

итак, $\log \frac{1}{b} = 9,7788$, $\frac{1}{b} = 6\,000\,000\,000$, а конечная концентрация микроорганизмов составляет $1 : 6 \cdot 10^9$.

Таким образом, можно сделать вывод, что если взять за основу установленное смертельное время, то выживаемость *Cl. botulinum* составит всего одну спору на шесть миллиардов банок. По существу же, степень выживаемости должна быть еще меньше этой цифры, несомненно — не больше одной споры на несколько сот миллиардов банок. Сравнивая эту цифру со многими случаями нашей повседневной жизни, следует признать, что консервы ни в какой степени не могут представлять опасности, в смысле выживания спор *Cl. botulinum*, для здоровья потребителя. Этот вывод подтверждается тем фактом, что на протяжении последних 25 лет нигде во всем мире не было отмечено ни одного случая заболевания ботулизмом, вызванного потреблением консервов.

Нужно, однако, постоянно иметь в виду, что все эти рассуждения о гарантийности режимов стерилизации и об абсолютной безвредности консервов справедливы *не при любых обстоятельствах*, а только *лишь при какой-то определенной обсемененности*, на которую и рассчитаны применяемые режимы стерилизации. Вместе с тем при плохом соблюдении санитарного режима производства, при всякого рода задержках в переработке сырья и простоях количество микроорганизмов в консерве до стерилизации может резко возрасти — в десятки и даже сотни тысяч раз. Поэтому принятое на заводе время стерилизации, рассчитанное на значительно меньшую обсемененность, может оказаться недостаточным для стерилизации данной партии консервов, и, следовательно, какая-то микрофлора в таких консервах будет оставаться не уничтоженной.

Каков же состав этой остаточной микрофлоры и как следует относиться к такому явлению, как нестерильность консервов?

Если надлежащий режим стерилизации выдержан и банка герметична, то несporоносные бактерии, вегетативные клетки споросporоных микробов, плесени и дрожжи уничтожаются все без исключения. Выдержать тепловую обработку могут лишь споры некоторых термоустойчивых микробов, особенно термофильных, а также таких мезофильных микроорганизмов, как сeнная и картофельная палочка, микроб ботулизма.

Оставшиеся в консервной банке единичные споры ослаблены высоким нагревом и могут долгое время находиться в латентном состоянии, не прорастая. Так, отмечены случаи, когда споры *V. mesentericus* прорастали спустя 25 дней, *Cl. botulinum* — спустя 63 дня, *V. amylobacter* — через 91 день. Некоторые споры оживают спустя год после стерилизации.

Кроме того, для большинства микробов условия развития в консервной банке неблагоприятны. Так, для термофильных микробов температурный оптимум находится, как известно, в пределах 50—65°С. Консервы же рекомендуются хранить в прохладном месте. Многие из микроорганизмов, вызывающих порчу консервов, являются аэробными. В консервах же, изготовленных по нормальному технологическому режиму, воздуха очень мало.

Поэтому не всегда остаточная микрофлора вызывает порчу консервов. Присутствие же спор таких микроорганизмов, как сeнная и картофельная палочка, вообще не является опасным. Следует учесть также, что в литературе встречаются указания на то, что порча пищевых продуктов вообще не может быть вызвана *единичными* клетками, а что вредная деятельность микробов может проявиться, будто бы, только *при достаточно большом их количестве*.

Можно ли из всего этого сделать вывод о терпимом отношении к нестерильности консервов? Нет, нельзя. Во-первых, некоторые микробы спустя определенное время после стерилизации оправляются от теплового шока и прорастают. Кроме того, существует группа анаэробных бактерий, которые могут развиваться в бескислородных условиях консервной банки. Такие микроорганизмы вызывают порчу консервов. Этому способствуют определенные условия, которые могут возникнуть при хранении консервов. Так, если в состав остаточной микрофлоры входят, главным образом, термофильные микробы, то в умеренном климате такие консервы могут храниться значительное время без какого-либо видимого порока. В условиях же жаркого климата, например при перевозках через экватор, при хранении в тропическом или субтропическом поясах термофилы начинают быстро развиваться и вызывают порчу консервов. Точно так же не дает стопроцентной гарантии сохранности консервов наличие всего лишь единичных бактериальных клеток в банке. Поэтому нестерильность консервов — явление очень нежелательное, и необходимо стремиться к полному уничтожению микроорганизмов и

их спор или к сведению их к такому минимуму, который практически (как отмечалось выше) равнозначен их отсутствию.

Совершенно очевидно, что стерильность консервов могла бы быть обеспечена в любых условиях повышением температуры и продолжительностью стерилизации, т. е. созданием такого режима, при котором бы наверняка погибали все, даже самые термоустойчивые, споры в любых концентрациях. Однако при этом значительно пострадала бы пищевая ценность консерва. Многие пищевые вещества подверглись бы разложению, продукт получился бы разваренным, пониженного вкуса и питательности.

Существует другой, более правильный путь борьбы с нестерильностью, который заключается в создании высокого санитарного режима производства. В микробной популяции всегда встречаются особо устойчивые к термическому фактору клетки. Поэтому при сильной обсемененности вероятие обнаружения таких видов всегда возрастает. Создавая строгий санитарный режим производства, т. е. сводя к минимуму обсемененности к моменту стерилизации, мы сводим к минимуму и вероятие попадания в консерв таких микробных спор, которые способны перенести нормальный режим стерилизации.

Таким образом, полное уничтожение микроорганизмов при стерилизации возможно лишь при безукоризненном проведении всего технологического процесса производства консервов, начиная с хранения поступившего на завод сырья и кончая процессом стерилизации. И, действительно, практика показывает, что консервная продукция, полученная в результате такого технологического процесса, является стерильной. Следовательно, чистота на консервном заводе — это важнейший технологический фактор, первейший залог успешного проведения процесса стерилизации и получения доброкачественной продукции.

Факторы, влияющие на время проникновения тепла в центр банки

На время проникновения тепла в центр банки оказывают влияние следующие факторы: а) физические свойства продукта; б) физические свойства материала тары, толщина стенки банки и ее геометрические размеры; в) начальная температура консерва; г) состояние покоя или движения банки при стерилизации.

а. Физические свойства продукта

Различные консервы значительно отличаются друг от друга по своим физическим свойствам: густоте, удельному весу, вязкости.

Имеются консервы жидкие, например фруктовые соки, обладающие небольшой вязкостью и плотностью. Передача тепла в таких продуктах происходит довольно быстро при помощи кон-

вективных токов. На рис. 10 показаны кривые прогреваемости вишневого сока, расфасованного в полудлитровую стеклянную банку. По горизонтальной оси отложено время стерилизации, начиная с момента погружения банки в автоклав, по вертикальной

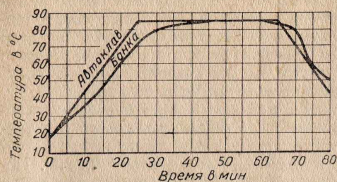


Рис. 10. Кривая прогрева вишневого сока.

оси — температура. На графике изображены две кривые: кривая изменения температуры греющей среды в стерилизационном аппарате (автоклаве) и кривая изменения температуры в центре банки. Такие кривые принято называть кривыми прогрева или кривыми проникновения тепла в центр

банки. Рис. 10 показывает сравнительно небольшое отставание скорости прогревания центра банки от скорости нагревания воды в стерилизационном аппарате. Температура стерилизации в центре банки достигается приблизительно через 10—12 мин. после достижения этой температуры в стерилизационном аппарате.

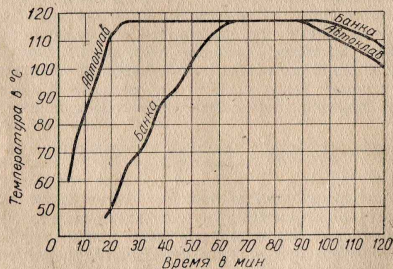


Рис. 11. Кривая прогрева тушенки.

Бывают твердые консервы, например «тушеное мясо», в которые тепло передается путем *теплопроводности*. И так как теплопроводность пищевых продуктов невелика, прогревание их происходит медленно.

На рис. 11 представлены кривые прогреваемости консерва «тушеная говядина», стерилизуемого в килограммовой жестяной бан-

ке при 117°С. Из рисунка видно большое отставание кривой прогрева центра банки от кривой роста температуры в стерилизационном аппарате. Эти кривые сливаются только спустя 40 мин. после достижения максимальной температуры в автоклаве. Также медленно прогреваются консервы, которые, хотя и являются жидкими, но отличаются густой консистенцией, такие, например, как томат-паста, икра баклажанная и кабачковая, фруктовые соусы. Конвективные токи в таких средах очень слабы, и тепло в них передается преимущественно путем теплопроводности. Медленная прогреваемость таких консервов видна на рис. 12.

Однако большинство консервов является неоднородным по составу, т. е. содержит и твердую и жидкую фазы, например, плоды и сахарный сироп, овощи и томатный соус и т. п. В этих консервах передача тепла происходит двумя способами: *конвекцией и теплопроводностью*, причем конвективные токи при нагревании довольно сильны. По интенсивности прогрева эти консервы занимают промежуточное положение между предыдущими группами, больше, однако, приближаясь к первой. Прогреваемость такого типа консервов показана на рис. 13.

Вязкость и удельный вес жидких продуктов также значительно влияют на скорость проникновения тепла при стерилизации. Так, например, при увеличении содержания сахара в сиропе вязкость и удельный вес сиропа увеличиваются, соответственно увеличивается и время проникновения тепла в центр стерилизуемой банки, содержащей сахарный сироп. На рис. 14 наглядно показано, как сильно влияет на прогреваемость удельный вес сахарного сиропа. Такое уменьшение скорости прогрева объясняется тем, что с увеличением вязкости и удельного веса жидкого пищевого продукта уменьшается конвекция, и в передаче тепла преобладающее значение приобретает теплопроводность, которая, как уже было указано, у пищевых продуктов невелика. Уменьшается скорость прогрева и при содержании крахмала в продукте.

При анализе типичных кривых прогреваемости можно вскрыть одну интересную их особенность, которую нельзя заметить при обычном осмотре. Оказывается, что зависимость между временем

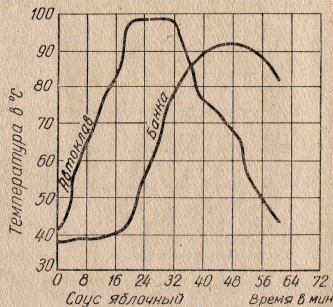


Рис. 12. Кривая прогрева яблочного соуса.

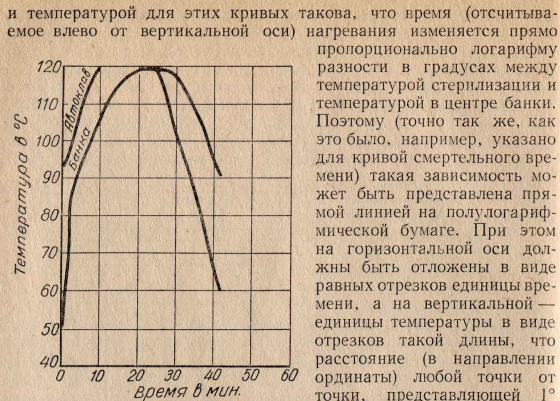


Рис. 13. Кривая прогрева консерва «средней» консистенции.

между температурой стерилизации и температурой рассматриваемой точкой.

Рассмотрим рис. 15, на котором представлены кривые прогреваемости томатного сока (кривая 1) и томатного соуса острого (кривая 2) в «натуральном» виде. Температура стерилизации в этом примере равна 100°C . Назовем вертикальную линию, представляющую время, при котором каждая из двух кривых пересекает горизонтальную линию в 99°C , вертикальной осью кривой. Температура 99°C выбрана потому, что в данном случае она на 1° ниже температуры стерилизации. А так как логарифм единицы равен нулю, то эту точку и удобно взять для прохож-

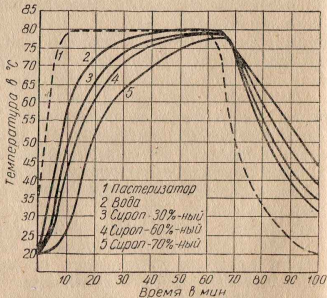


Рис. 14. Прогреваемость сахарных сиропов.

дения через нее вертикальной оси логарифмической кривой. Для кривой 1 эта ось является линией, представляющей 105 мин. на шкале времени, для кривой 2 эта линия соответствует 160 минутам.

«Выпрямленные» логарифмическим способом кривые 1 и 2 показаны на рис. 16. Логарифмическая шкала построена таким

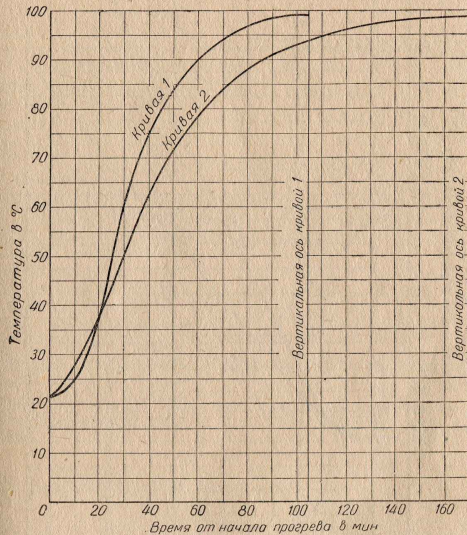


Рис. 15. Типичные кривые прогрева в линейных координатах (томатный сок и томатный соус).

образом, чтобы разность температур возрастала сверху вниз. Это сделано для того, чтобы график было удобно сопоставлять с «натуральной», т. е. с невыпрямленной кривой прогрева. Именно при таком расположении вертикальной шкалы значения температур в центре банки будут возрастать снизу вверх, как и для натуральной кривой, ибо чем меньше разность температур, тем больше абсолютное значение температуры в центре банки. При рассмотрении кривых видно, что начальные участки их

не являются прямыми линиями. Эти искривленные отрезки на каждой кривой представляют собой первый период нагревания, называемый периодом запаздывания. Во время этого периода

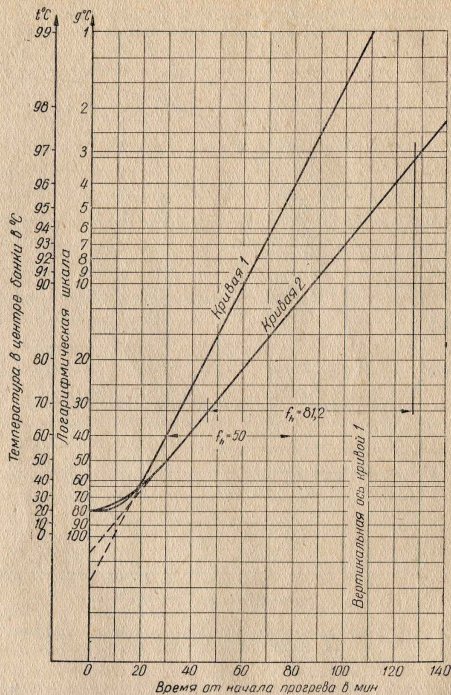


Рис. 16. Типичные кривые прогрева в полулогарифмических координатах (томатный сок и томатный соус).

подъем температуры происходит недостаточно быстро, чтобы образовать логарифмическую зависимость с временем, ибо эта зависимость возникает только после того, как в банке устанавливается необходимый температурный градиент.

Так же, как мы это отмечали в отношении кривых смертельного времени, способность кривых прогрева¹ выпрямляться при построении их на полулогарифмической бумаге дает возможность характеризовать их простыми аналитическими выражениями.

Представим себе наклонную прямую, пересекающую вертикальную логарифмическую шкалу y в точке B , причём точка B отстоит от точки D на расстоянии, равном $\log g$, где g — разница между температурой автоклава и максимальной температурой в центре банки (т. е. той температурой в центре банки, когда пар в автоклаве выключен и начинается охлаждение):

$$BD = g = T_A - T_{II}.$$

Рассмотрим (рис. 17) координаты любой точки на этой прямой, например точки Q , соответствующей начальной температуре в центре банки (т. е. в начале стерилизации). Ордината этой точки (если принять за горизонтальную шкалу ось, пересекающуюся с вертикальной шкалой в точке, соответствующей температуре автоклава) $\log y = AQ$ состоит из двух отрезков

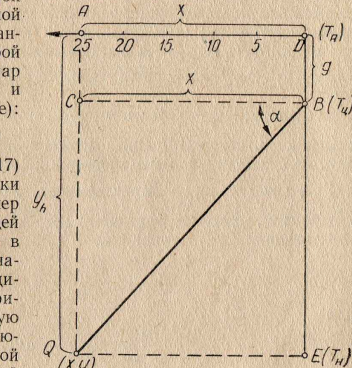


Рис. 17. К выводу уравнения кривой прогрева.

$$AQ = QC + CA. \quad (II, 28)$$

Из треугольника QCB следует, что

$$\frac{QC}{CB} = \operatorname{tg} \alpha. \quad (II, 29)$$

Отсюда

$$QC = CB \operatorname{tg} \alpha \quad (II, 30)$$

Подставим это значение QC в уравнение (II, 28), тогда

$$AQ = CB \operatorname{tg} \alpha + CA. \quad (II, 31)$$

Если учесть, что CB — это x , т. е. абсцисса точки Q (промежуток времени, требуемый для того, чтобы центр банки про-

¹ Следует оговориться, что не все кривые прогрева способны выпрямляться. Этим свойством обладают главным образом кривые прогрева густых продуктов, в которых тепло передается, в основном, с помощью теплопроводности.

грелся от начальной температуры T_H до температуры $T_{П}$, на g градусов ниже температуры автоклава), а $CA = BD = \bar{g}$ (вернее $\log \bar{g}$), то выражение (II, 31) примет такой вид:

$$\log y = x \operatorname{tg} \alpha + \log \bar{g}. \quad (\text{II, 32})$$

По аналогии с выкладками, приведенными в разделе II, 1а, угловой коэффициент $\operatorname{tg} \alpha$ можно выразить как отношение двух катетов, из которых один, вертикальный, равен одному логарифмическому циклу, т. е. расстоянию от некоторой точки $\log 10l$ до точки $\log l$, где l — любая точка на вертикальной шкале. Тогда $\log 10l - \log l = \log \frac{10l}{l} = \log 10 = 1$. Если соответствующий горизонтальный катет обозначить f_h , то $\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{f_h}$, где f_h — количество минут, которое нужно отсчитать по горизонтальной шкале при прохождении прямой прогресса одного логарифмического цикла. Следовательно, $\frac{1}{f_h}$ характеризует данную прямую и является константой, характеризующей скорость прогресса. Подставляя это значение $\operatorname{tg} \alpha$ в уравнение (II, 32), получаем

$$\log y_h = \frac{x_h}{f_h} + \log \bar{g}, \quad (\text{II, 33})$$

или

$$\frac{x_h}{f_h} = \log y - \log \bar{g}, \quad (\text{II, 34})$$

$$\frac{x_h}{f_h} = \log \frac{y}{\bar{g}}. \quad (\text{II, 35})$$

Если обозначить x_h (время прогресса центра банки до максимального значения) через B , а $y_h = T_A - T_H$ через \bar{i} , то

$$\frac{B}{f_h} = \log \frac{\bar{i}}{\bar{g}}. \quad (\text{II, 36})$$

Ранее было отмечено, что не вся кривая нагрева выпрямляется при построении ее на полулгарифмической бумаге, а что начальный ее отрезок, соответствующий периоду «запаздывания», остается при таком построении криволинейным. Поэтому, перед тем, как использовать ур. (II, 36) для практических целей, в него нужно ввести поправку.

Во-первых, возникает вопрос, что считать *начальной температурой* банки? С одной стороны, на истинной кривой нагрева имеется какая-то реальная точка, соответствующая действительной температуре в центре банки в тот момент, когда банка начинает стерилизоваться, с другой же стороны, эта точка не лежит на теоретической кривой нагрева, представляющей собой

прямую линию, и для которой, собственно, и справедливо уравнение (II, 35).

$$\frac{x_h}{f_h} = \log \frac{y_h}{\bar{g}}.$$

Фактически, если прямую продолжить до пересечения ее с вертикалью, проведенной через начало координат, то получится точка, лежащая и не же истинной начальной температуры. Эту точку можно назвать «псевдоначальной» температурой и обозначить $T_{ПН}$ (рис. 16). Именно эту точку и нужно принимать в расчет при подстановке значений y_h в уравнение (II, 35). Иначе говоря, в уравнении (II, 35) нужно брать значение y_h , равное не $T_A - T_H$, а

$$y_h = T_A - T_{ПН}. \quad (\text{II, 37})$$

Эта разность $T_A - T_{ПН}$ больше разности $T_A - T_H$ в некоторое количество раз, которое принято обозначать J :

$$J = \frac{T_A - T_{ПН}}{T_A - T_H}, \quad (\text{II, 38})$$

или

$$J = \frac{T_A - T_{ПН}}{i}, \quad (\text{II, 39})$$

а значит

$$y_h = T_A - T_{ПН} = iJ. \quad (\text{II, 40})$$

Тогда, подставив это значение y_h в уравнение (II, 35—36), получим частное уравнение кривой прогресса (II, 41) в следующем виде:

$$\frac{B}{f_h} = \log \frac{iJ}{\bar{g}}. \quad (\text{II, 41})$$

Примечания:

1. Уравнение (II, 41) названо частным уравнением кривой прогресса, ибо здесь взята не любая точка, а одна определенная точка кривой — именно *начальная* точка, ордината которой представляет разность между температурой автоклава и «псевдоначальной» температурой банки, а абсцисса — время подогрева центра банки от псевдоначальной температуры до некоторой максимальной температуры в момент выключения пара. Общим же уравнением кривой прогресса будет уравнение (II, 35):

$$\frac{x_h}{f_h} = \log \frac{y_h}{\bar{g}}.$$

В этом общем виде y_h есть ордината любой точки кривой нагрева, т. е. разность между температурой автоклава и температурой центра банки в любой момент нагрева, а x_h — время, которое требуется для подогрева центра банки от любого уровня до максимального.

2. Здесь уместно отметить, что, поскольку J представляет собой определенную точку на кривой нагрева и поскольку положение прямой линии может быть определено с помощью одной точки на этой прямой и угла наклона, то все, что требуется знать для определения положения кривой нагрева, это J и T_H .

3. Величина J является константой, характеризующей данный пищевой продукт.

Во-вторых, при использовании уравнения (II, 36) следует ввести еще одну поправку на идеальность наших предположений. Уравнение кривой прогрева было выведено в предположении, что банка при погружении в автоклав сразу подвергается воздействию температуры стерилизации. Между тем, как известно, проходит некоторое время между моментом пуска пара в автоклав и моментом достижения автоклавом температуры стерилизации T_A . В этот период тепло проникает также и в банку, и поэтому данный промежуток времени нужно принимать в расчет при определении времени прогрева. Период подъема температуры автоклава сокращает промежуток времени, которое необходимо для прогрева центра банки, если этот промежуток отсчитывается с того момента, когда автоклав достиг температуры стерилизации. Это сокращение можно выразить в долях периода подъема. Бюла опытным путем установил, что в общее время стерилизации при температуре автоклава следует включить 42% периода подъема, которые должны быть зачтены в том смысле, что температура стерилизации распространяется при расчете и на этот отрезок времени.

Поэтому началом процесса прогрева, началом процесса стерилизации считают не тот момент, когда температура автоклава достигает заданной температуры стерилизации, а тот, который наступает раньше на величину, равную 42% всего периода подъема температуры в автоклаве. Такое смещение начала процесса отражается на псевдоначальной температуре $T_{пн}$ и на факторе J .

Практически фактор J определяют так:

1. Строят кривую прогрева на полулוגарифмической бумаге, начиная с момента пуска пара в автоклав.

2. Проводят вспомогательную вертикаль через ту точку кривой, которая соответствует моменту достижения автоклавом температуры стерилизации (рис. 18).

3. Делят отрезок между этой вертикалью и вертикалью, проходящей через точку пуска пара в автоклав в отношении 42:58 (т. е. либо отсчитывают 42% от конца или 58% от начала) и через точку раздела проводят вертикаль. Это и будет «нулевая» вертикаль, т. е. начало процесса.

4. Далее продолжают пунктиром прямую часть кривой прогрева до тех пор, пока она не пересечется с «нулевой» вертикалью. Температура, указанная точкой пересечения, и есть то, что мы называем псевдоначальной температурой.

5. Наконец, рассчитываем J по формуле (II, 39).

Пример: Допустим, что период подъема температуры в автоклаве до температуры стерилизации 100°C продолжается 20 минут. Тогда «нулевая» вертикаль (начало процесса) пройдет в 11,6 мин. после пуска пара в автоклав (т. е. в 58% от начала пуска пара, где $58\% = 100\% - 42\%$). Продолжение

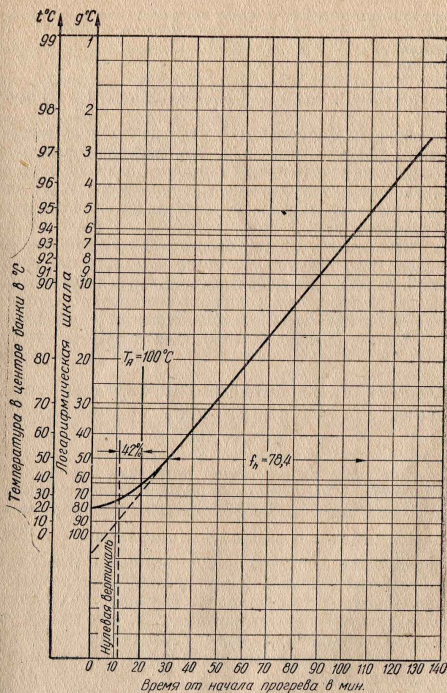


Рис. 18. К расчету параметров кривой прогрева (томатный соус).

прямой части кривой прогрева до пересечения с нулевой вертикалью дает псевдоначальную температуру, равную 12°C . Действительная же начальная температура банки составляет, скажем, 20°C , тогда

$$J = \frac{100 - 12}{100 - 20} = 1.10.$$

Итак, пользуясь уравнением (II, 41), можно рассчитать время прогрева центра банки от начальной температуры до любой наперед заданной температуры.

Пример: Определить время прогрева центра банки до температуры 111°C при условии: $f_h = 70$ мин., начальная температура консерва 60°C , температура стерилизации 112°C , $J = 1,14$.

Из формулы (II, 41) следует, что

$$B = f_h \log \frac{ij}{g} = 70 \log \frac{(112 - 60) \cdot 1,14}{112 - 111} = 70, \log 59,3 = 124 \text{ мин.}$$

Таким образом, формулой (II, 41) удобно пользоваться для практических расчетов, хотя и не все фигурирующие в ней величины отражают в явном виде факторы, влияющие на прогреваемость. Так, например, величина f_h , характеризующая скорость прогрева, зависит не только от физических свойств продукта, но и от размеров тары, хотя, в общем, — больше от первого признака. Чем больше f_h , тем скорость прогрева данного консерва меньше. Как правило, величина f_h для густых продуктов, в которых передача тепла производится путем теплопроводности, в десятки раз больше, чем в жидких консервах, в которых при нагревании возникают сильные конвективные токи. Для первых величина f_h бывает порядка 50—150, для вторых — 5—15 минут.

б. Физические свойства материала тары, толщина стенки банки и ее геометрические размеры

Физические свойства и толщина материала. Прежде чем проникнуть в продукт, тепло должно преодолеть термическое сопротивление стенки тары, которое зависит от толщины стенки δ и ее теплопроводности λ и выражается отношением $\frac{\delta}{\lambda}$. Таким образом, термическое сопротивление стенки банки будет тем больше, чем больше ее толщина и чем меньше ее теплопроводность.

Однако вопрос о том, с каким фактором нужно серьезнее считаться в практическом отношении, т. е. с толщиной ли тары или с ее теплопроводностью, может быть решен только при рассмотрении свойств конкретных видов тары, применяемых в консервной промышленности.

Толщина стенки жестяной тары $\delta_{ж}$ очень мала и колеблется в пределах 0,00024—0,00036 м. Теплопроводность же жести $\lambda_{ж}$ довольно велика и находится в пределах 40—45 ккал/м час $^{\circ}\text{C}$. Таким образом, термическое сопротивление стенки жестяной банки $\frac{\delta_{ж}}{\lambda_{ж}}$ получается очень небольшим и может быть выражено, приблизительно, величиной $\frac{0,00024}{40} - \frac{0,00039}{40} = 0,0000055 - 0,000009$.

В этом случае абсолютная величина знаменателя $\lambda_{ж}$ выражения $\frac{\delta_{ж}}{\lambda_{ж}}$ настолько велика по отношению к абсолютной величине числителя $\delta_{ж}$, что колебания этой последней не могут заметно повлиять на абсолютную величину дроби $\frac{\delta_{ж}}{\lambda_{ж}}$. Следовательно, те

колебания толщины жести, с которыми приходится встречаться в консервном производстве, не могут существенно отразиться на термическом сопротивлении стенки жестяной банки.

Толщина стенки *стеклянной* банки $\delta_{ст}$ довольно велика, раз в десять больше, чем толщина жестяной, и колеблется в больших пределах, примерно от 2 до 6 мм (0,002—0,006 м). Теплопроводность же стекла $\lambda_{ст}$ мала, порядка 0,5—0,8 ккал/м час $^{\circ}\text{C}$, т. е. в 80—90 раз меньше, чем теплопроводность жести. Таким

образом, термическое сопротивление стенки стеклянной банки $\frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}}$ довольно значительно, составляя величину $\frac{0,002}{0,5} - \frac{0,006}{0,5} = 0,004 - 0,012$, которая в несколько сот, а то и в несколько тысяч раз превышает термическое сопротивление стенки жестяной банки.

В этом случае абсолютная величина знаменателя $\lambda_{ст}$ выражения $\frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}}$ не настолько велика по отношению к абсолютной величине числителя $\delta_{ст}$, чтобы колебания этой последней не отразились (и весьма заметно) на абсолютной величине дроби $\frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}}$. Следовательно, колебания толщины стенки стеклянной консервной тары очень существенно отражаются на ее термическом сопротивлении.

Однако термическое сопротивление стенки тары нас интересует не само по себе, а лишь в той мере, в какой оно влияет на время проникновения тепла в центр банки. Вопрос же о том, в какой мере термическое сопротивление стенки консервной банки может повлиять на время проникновения тепла в центр этой банки, может быть решен только при сопоставлении термического сопротивления стенки конкретной банки с термическим сопротивлением конкретного содержимого в банке. При этом на практике приходится встречаться с двумя основными вариантами:

1. Тепло распространяется в продукте путем конвекции, главным образом, т. е. термическое сопротивление продукта невелико.

2. Тепло распространяется в продукте преимущественно путем теплопроводности, т. е. термическое сопротивление продукта значительно.

Рассмотрим каждый из этих вариантов отдельно.

1. Допустим, что в *жестяной* банке прогревается жидкий продукт, в котором имеются сильные конвективные токи (рис. 19). Передача тепла в этом случае происходит следующим образом: в начале происходит конвективная теплоотдача от греющей среды к стенке банки (коэффициент теплоотдачи α_1); далее тепло распространяется путем теплопроводности через стенку банки; наконец, пройдя через стенку, тепло передается дальше снова конвективным путем (коэффициент теплоотдачи от стенки к продукту α_2). Отсюда общее термическое сопротивление такой системы можно выразить следующим образом:

$$\sigma_1 = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{жк}}{\lambda_{жк}} + \frac{1}{\alpha_2}. \quad (11,42)$$

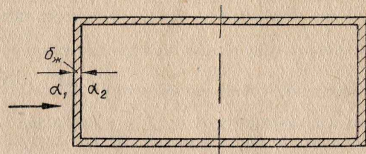


Рис. 19. Прогреваемость жидких продуктов в жестяной и стеклянной таре.

Величины α_1 и α_2 , как правило, довольно велики. Поэтому обратные им величины $\frac{1}{\alpha_1}$ и $\frac{1}{\alpha_2}$ малы. Еще меньшее значение имеет, как показывают расчеты, термическое сопротивление жесты. Значит, и общее термическое сопротивление всей системы «тара — продукт» в данном случае мало.

Отсюда можно прийти к заключению, что, во-первых, общее время прогрева такой банки должно быть невелико. Во-вторых, если принять, что термическое сопротивление в системе $\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{жк}}{\lambda_{жк}} + \frac{1}{\alpha_2}$ распределяется, ориентировочно, в отношении 100:1:100, то можно утверждать, что на время проникновения тепла в центр такой банки влияют в равной мере как физические свойства продукта, так и физические свойства тары.

К этому же варианту относится случай прогрева жидкого продукта в *стеклянной* таре (при условии, что конвективные токи в жидкости сильны). В этом случае термическое сопротивление «тара — продукт» имеют такой вид:

$$\sigma_2 = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}. \quad (11,43)$$

Термические сопротивления в этой системе распределяются, ориентировочно, в отношении 100:800:100. Следовательно, из этого можно заключить, что, во-первых, время прогрева такой банки должно быть в несколько раз больше, чем время прогрева предыдущей банки. Во-вторых, это время прогрева не должно быть все же очень большим, так как время прогрева предыдущей банки невелико. В-третьих, можно утверждать, что на время проникновения тепла в центр такой банки влияют, главным образом, физические свойства тары, а не продукта, так как в системе термических сопротивлений «тара-продукт» наибольшее значение термического сопротивления приходится на тару.

2. Допустим теперь, что в *жестяной* банке прогревается продукт, в котором тепло распространяется преимущественно путем теплопроводности. Распространение тепла в такой системе можно с некоторым приближением рассматривать как распространение тепла через сложную стенку, состоящую как бы из двух стенок: металлической и «продуктовой» (рис. 20). При этом передача тепла в центр банки происходит вначале конвективным путем от пара к стенке, затем путем теплопроводности — через стенку банки и, наконец, также путем теплопроводности — через «продуктовую» стенку, т. е. через толщу продукта к центру банки.

Тогда общее термическое сопротивление такой системы можно выразить так:

$$\sigma_3 = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{жк}}{\lambda_{жк}} + \frac{\delta_{пр}}{\lambda_{пр}}, \quad (11,44)$$

где $\delta_{пр}$ — толщина «продуктовой» стенки, считая от периферии до центра банки, $\lambda_{пр}$ — коэффициент теплопроводности продукта.

Так как толщина «продуктовой» стенки в несколько раз больше толщины металлической стенки, а коэффициент теплопроводности продукта очень мал, раз в сто меньше коэффициента теплопроводности жесты, то распределение термических сопротивлений в данной системе можно представить, приблизительно, в виде отношения 100:1:25 000.

Сравнивая эти данные с предыдущими, можно заключить, что, во-первых, время прогрева такой банки велико, во много раз больше, чем время прогрева банки с продуктом, в котором тепло распространяется путем конвекции. Во-вторых, можно утверждать, что на время проникновения тепла в центр такой банки влияют, почти исключительно, физические свойства продукта, так как в системе термических сопротивлений «тара-про-

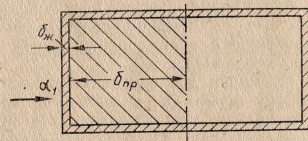


Рис. 20. Прогреваемость густых продуктов в жестяной и стеклянной таре.

дукт» почти вся абсолютная величина термического сопротивления приходится на продукт.

К этому же варианту относится случай прогрета такого же продукта в *стеклянной* таре. В этом случае термическое сопротивление в системе «тара-продукт» имеет такой вид:

$$\alpha_4 = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст}}{k_{ст}} + \frac{\delta_{пр}}{k_{пр}} \quad (II, 45)$$

В соответствии с предыдущими выкладками распределение термических сопротивлений в этой системе можно представить, приблизительно, в виде отношения 100 : 800 : 25 000. Рассматривая это отношение, можно прийти к такому же заключению, к какому мы пришли в предыдущем случае, т. е. что, во-первых, время проникновения тепла в центр такой банки велико, во-вторых, что время прогрета такой банки определяется почти исключительно термическим сопротивлением продукта, так как по сравнению с этим сопротивлением термическое сопротивление тары очень мало.

Суммируя все замечания относительно влияния физических свойств тары и ее толщины на время проникновения тепла в центр банки, можно сказать, что вид тары и ее толщина могут иметь значение только в том случае, если в консерве во время прогрета возникают сильные конвективные токи, т. е., если консерв жидкий (или содержит много жидкости), то стеклянная банка прогревается медленнее, чем жестяная. Если же консерв густой консистенции, т. е., если тепло в нем распространяется преимущественно путем теплопроводности, то характер тары *мало* влияет на время прогрета банки, которое в этом случае зависит почти исключительно от содержания.

Геометрические размеры банки. Из формулы (II, 41)

$$\frac{B}{f_h} = \log \frac{t}{g},$$

которую можно представить также в виде

$$B = f_h \log \frac{t}{g}, \quad (II, 46)$$

следует, что при одних и тех же условиях стерилизации (*t*, *u* и *g*) время прогрета центра банки зависит от величины *f_h*: чем больше *f_h*, тем длительнее время прогрета. Выше мы отмечали, что *f_h* зависит от физических свойств продукта и от размеров тары: чем гуще продукт и чем больше банка, тем больше и величина *f_h*, а следовательно, тем дольше время прогрета. Таким образом, при прочих равных условиях стерилизации время прогрета данного продукта находится в прямой зависимости от величины *f_h*, характеризующей наклон кривой прогрета.

Ч. Болл предложил формулу, позволяющую обойтись без экспериментального определения *f_h* для каждого данного случая.

С помощью этой формулы достаточно знать только одно какое-нибудь значение *f_h*, чтобы по размерам банок произвести пересчет величины *f_h* для любой банки:

$$f_h = f_{h_1} \frac{d_2^2 k_2}{d_1^2 k_1} \quad (II, 47)$$

Здесь

f_h — характеристика кривой прогрета для данного, экспериментально проверенного случая с банкой, диаметр которой *d₁*;

f_h — искомый наклон кривой прогрета для другой банки, диаметр которой *d₂*;

k₁, *k₂* — коэффициенты для данных банок, величина которых определяется отношением *h/d*, т. е. высоты банки к ее диаметру. Величины *k* находят в табл. 8.

Таблица 8.

<i>h/d</i>	<i>k</i>	<i>h/d</i>	<i>k</i>
0,4	0,109	1,1	0,296
0,5	0,148	1,2	0,308
0,6	0,181	1,3	0,320
0,7	0,212	1,4	0,328
0,8	0,239	1,5	0,337
0,9	0,261	1,6	0,343
1,0	0,280	~	0,397

Необходимо отметить, что формула Болла (II, 46) не является, к сожалению, универсальной. Она применима только к тем кривым прогрета, которые выпрямляются при построении их на полулогарифмической бумаге. Между тем не все кривые прогрета претерпевают такое превращение. Кроме того, эта формула недостаточно наглядна: некоторые факторы, влияющие на прогреваемость, фигурируют в ней в скрытом виде (например, размеры банок, от которых зависит величина *f_h*).

В. З. Жадан, взяв за основу известную в теории теплопередачи формулу для расчета температуры на оси бесконечно длинного цилиндрического тела, нагреваемого в среде с постоянной температурой,

$$\frac{t_2 - t_1}{t_n - t_1} = f \left(\frac{\beta}{\lambda} R; \frac{\alpha \tau}{R^2} \right) \quad (II, 48)$$

и введя ряд поправок и допущений, вывел другую формулу для расчета времени прогреваемости центра цилиндрической банки, а именно:

$$\tau = \frac{(8,3 HD + D^2) \left(19 - \frac{1}{\log \theta - 0,01} \right)}{1030 \alpha} \quad (II, 49)$$

которую можно записать иначе:

$$\tau = \frac{(8,3 HD + D^2) \left(19 - \frac{1}{\log \delta - 0,01} \right)}{1133 \lambda}, \quad (II, 50)$$

причем

$$\delta = \frac{t_2 - t_1}{t_n - t_1},$$

где

H — высота банки } наружные размеры в см;
 D — диаметр банки }
 t_1 — начальная температура консервов в °С;
 t_2 — конечная температура в центре банки в °С;
 t_n — температура стерилизации в °С;
 λ — кажущийся коэффициент теплопроводности консерва в ккал/м·час °С;

$\alpha = \frac{\lambda}{c\tau}$ — температурная проводимость консерва в м²/час;

c — теплоемкость консерва в ккал/кг °С;

τ — удельный вес консерва в кг/м³;

γ — продолжительность прогрева центра банки от t_1 до t_2 в °С.

Формула (II, 50) более сложна, чем формула Болла, но зато она универсальна и отчетливо указывает на все факторы, от которых зависит продолжительность прогрева банки.

При желании выпятить влияние одних лишь размеров на прогреваемость консервов можно часть формулы (II, 50), иллюстрирующую значение температурного режима и физических свойств продукта, обозначить одной буквой, например A :

$$\frac{19 - \frac{1}{\log \delta - 0,01}}{1133 \lambda} = A,$$

тогда конструкция формулы (II, 50) упростится, и ее можно будет записать так:

$$\tau = A(8,3 HD + D^2). \quad (II, 51)$$

Из формулы (II, 51) следует, что при одном и том же A , т. е. при одинаковом температурном режиме для одного и того же консерва, зависимость между временем прогрева и размерами двух банок может быть выражена простой пропорцией:

$$\frac{\tau_1}{\tau_2} = \frac{8,3 H_1 D_1 + D_1^2}{8,3 H_2 D_2 + D_2^2}. \quad (II, 52)$$

Эта простая формула весьма ценна для приближенных практических расчетов, когда при производстве одного и того же вида консерва переходят к новому размеру тары.

Примеры на пользование формулами (II, 50) и (II, 52)

Пример 1. Определить продолжительность прогрева до температуры в центре на 1° ниже температуры стерилизации консерва «тушеное мясо» в банке № 13. Температура стерилизации 112°С, начальная температура консерва 20°С, коэффициент теплопроводности мяса 0,4 ккал/м·час °С, диаметр банки 10 см, высота 11,2 см.

По формуле (II, 50)

$$\tau = \frac{(8,3 \times 11,2 \times 10 + 10^2) \left(19 - \frac{1}{\log \frac{111 - 20}{112 - 20} - 0,01} \right)}{1133 \times 0,4} = 188 \text{ мин.}$$

Пример 2. То же для банки № 8 (диаметр 10 см, высота 4,5 см). По формуле (II, 52)

$$\frac{188}{\tau_2} = \frac{8,3 \times 11,2 \times 10 + 10^2}{8,3 \times 4,5 \times 10 + 10^2},$$

откуда

$$\tau_2 = 188 \cdot \frac{8,3 \times 4,5 \times 10 + 10^2}{8,3 \times 11,2 \times 10 + 10^2} = 86 \text{ мин.}$$

Анализ формулы (II, 51) дает возможность выяснить не только, как отличается между собой продолжительность прогрева банок разных объемов, но позволяет сделать заключение и о наиболее выгодной (с точки зрения скорости прогрева) форме цилиндрической банки, т. е. о том, какая консервная банка быстрее прогревается: «высокая», высота которой больше диаметра, или «плоская», высота которой меньше диаметра.

Примечание: Для того, чтобы уменьшить громоздкость всех последующих вычислений, приравняем A в формуле (II, 51) единице. Тогда формула (II, 51) примет такой вид:

$$\tau = 8,3 HD + D^2. \quad (II, 53)$$

Влияние объема и формы банки на время прогрева. Итак, представим себе, что у нас имеется консервная банка, размеры которой H и D , а объем v . Согласно примечанию, продолжительность прогрева этой банки будет

$$\tau = 8,3 HD + D^2.$$

Допустим теперь, что нам необходимо *увеличить* объем этой банки и что мы решили оставить диаметр неизменным, а увеличить *высоту* в n раз. Тогда объем этой новой банки $v_1 = nv$, а в формуле для расчета времени прогрева увеличится только *первое слагаемое*, тоже в n раз:

$$\tau_1 = 8,3 HDn + D^2. \quad (II, 54)$$

Если же, желая увеличить объем исходной банки, мы увеличим диаметр в n раз, а высоту оставим неизменной, то объем банки увеличится в n^2 раз, т. е. $v_2 = n^2v$, а в выражении для расчета времени прогрева (II,53) увеличатся оба слагаемых, причем первое из них — пропорционально n , а второе — пропорционально n^2 :

$$\tau_2 = 8,3HDn + n^2D^2. \quad (II,55)$$

Сравнивая выражения (II,53, 54, 55), можно сделать вывод о том, что чем больше объем банки, тем больше и время ее прогрева. Однако в ряде случаев, производя сравнительную оценку техникоэкономической эффективности банок разных размеров, представляется интересным сопоставить не абсолютное время прогрева данной банки, а удельное время прогрева, т. е. время прогрева единицы объема продукта в данной банке. При этом для непосредственных расчетов используется величина, обратная удельному времени прогрева, которую можно называть *удельной скоростью* прогрева и которая представляет собой количество консерва, прогретое в единицу времени $\frac{v}{\tau}$.

Тогда для исходной банки удельная скорость прогрева будет

$$\frac{v}{\tau} = \frac{v}{8,3HD + D^2}, \quad (II,56)$$

а для банки, у которой увеличивалась только высота, она будет равна:

$$\frac{v_1}{\tau_1} = \frac{nv}{8,3HDn + D^2},$$

или

$$\frac{v_1}{\tau_1} = \frac{v}{8,3HD + \frac{D^2}{n}}. \quad (II,57)$$

И, наконец, для банки, у которой увеличивался только диаметр, удельная скорость прогрева будет:

$$\frac{v_2}{\tau_2} = \frac{n^2v}{8,3HDn + n^2D^2},$$

или

$$\frac{v_2}{\tau_2} = \frac{v}{\frac{8,3HD}{n} + D^2}. \quad (II,58)$$

Сравнивая выражения (II,56, 57, 58), можно сказать, что с увеличением объема банок удельная скорость прогрева их возрастает, ибо в выражении (II,57) первое слагаемое в знаменателе имеет то же значение, что и соответствующее первое слагаемое для исходной банки, а второе слагаемое уменьшено в n раз; в выражении (II,58) второе слагаемое имеет то же значение, что и второе слагаемое в знаменателе выражения (II,56); уменьшено же в n раз первое слагаемое. Другой вопрос, что, глядя

на выражения (II,57) и (II,58), сразу не скажешь, какое из них больше: это зависит от того, какое из слагаемых в выражении (II,56) больше — первое, т. е. $8,3HD$, или второе — D^2 . Если больше, скажем, второе, то наибольшая удельная скорость прогрева будет у «высокой» банки, т. е. у той, у которой увеличение объема достигнуто за счет увеличения высоты, ибо именно для этой банки приходится уменьшать второе слагаемое в n раз. Если же в общей сумме знаменателя $8,3HD + D^2$ наибольшее значение приходится на первое слагаемое, тогда наибольшая скорость прогрева будет у «плоской» банки (у которой увеличение объема достигнуто за счет увеличения диаметра), ибо для этой банки в n раз уменьшается первое слагаемое.

Вопрос о том, какова доля D^2 или $8,3HD$ в общей сумме $8,3HD + D^2$, нельзя выяснить в общем виде. Решение этой задачи зависит от конкретных отношений H/D для данной банки. Из нижеследующей таблицы видно, что в широком диапазоне отношений H/D , в диапазоне, который шире того, с которым можно встретиться на практике, второе слагаемое оказывается гораздо меньше первого (табл. 9). В интервале H/D 4—0,4 на долю первого слагаемого приходится от 97 до 77% общей суммы.

Таблица 9

H/D	$\frac{D^2}{8,3HD + D^2}$
4	0,029
3	0,039
2	0,057
1	0,107
0,8	0,132
0,7	0,147
0,6	0,167
0,5	0,194
0,4	0,233

Таким образом, получается, что при необходимости увеличить объем банки выгоднее (с точки зрения увеличения удельной скорости прогрева) идти по пути увеличения ее диаметра, а не высоты, т. е. выгоднее делать банки «плоскими», а не «высокими».

Пример. Допустим, что отношение H/D для исходной банки равно единице, и предположим, что кратность увеличения размеров n равна 1,3. Требуется выяснить, при каких условиях скорость прогрева будет больше: если мы будем увеличивать в 1,3 раза высоту этой банки или ее диаметр?

а. Согласно табл. 9 общее время прогрева для данной банки распределяется между двумя слагаемыми так:

$$\tau = 0,9\tau + 0,1\tau.$$

Если теперь увеличить в 1,3 раза высоту банки, то время прогрева изменится следующим образом:

$$\tau_1 = 0,9\tau \cdot 1,3 + 0,1\tau = 1,27\tau$$

(ибо в данном случае увеличивается только *первое* слагаемое). Объем же новой банки $v_1 = 1,3v$. Тогда удельная скорость прогресса

$$\frac{v_1}{\tau_1} = \frac{1,30v}{1,27\tau} = 1,024 \frac{v}{\tau}.$$

т. е. на 2,4% больше скорости прогресса исходной банки.

б. Если же увеличить в 1,3 раза *диаметр* банки, то в общем значении времени прогресса изменятся оба слагаемых, причем первое — в 1,3 раза, а второе — в 1,3²:

$$\tau_2 = 0,9\tau \cdot 1,3 + 0,1\tau \cdot 1,3^2 = 1,34\tau.$$

Объем же новой банки $v_2 = 1,3^2v = 1,69v$, тогда скорость прогресса

$$\frac{v_2}{\tau_2} = \frac{1,69v}{1,34\tau} = 1,26 \frac{v}{\tau}.$$

т. е. на 26% будет больше скорости прогресса исходной банки.

В каких же случаях, сопоставляя технэкономическую эффективность банок разных размеров, следует пользоваться понятием удельной скорости прогресса, а в каких — абсолютным временем прогресса? Обими понятиями пользуются при расчете производительности стерилизационных аппаратов. Последние бывают периодического и непрерывного действия.

При работе со стерилизаторами периодического действия в аппарат загружается определенное количество (партия) банок. Далее эта партия прогревается в течение нужного времени, после чего аппарат освобождается от прогретых банок и загружается новой партией консервов.

Производительность таких аппаратов может быть рассчитана по формуле:

$$Q_n = \frac{60}{\tau} Nv, \quad (II, 59)$$

где

Q_n — часовая производительность аппарата в кг;

τ — время нагревания банок (величина не равная, но пропорциональная времени прогресса) в мин.;

N — число банок, помещающихся в аппарате;

v — весовая емкость банки в кг.

Практика показывает, что хотя число банок, помещающихся в аппарате, зависит от их размеров (чем меньше размеры, тем больше банок), суммарный вес нетто загружаемой партии Nv почти не зависит от размера банок и является, таким образом, величиной постоянной. Отсюда становится ясным, что производительность аппаратов периодического действия зависит только от времени прогресса τ , которое будет меньше для более мелкой расфасовки. Следовательно, производительность стерилизаторов периодического действия будет больше при применении более мелких банок.

Стерилизаторы непрерывного действия бывают разных конструкций. Среди них встречаются аппараты ротационного типа, в которых банки, проходя по спиральной направляющей через

вращающийся барабан, непрерывно обрабатываются и удаляются с другого конца барабана. Производительность такого аппарата зависит от числа оборотов барабана в минуту n , числа банок, выходящих из аппарата за каждый оборот z , и от веса нетто каждой банки v :

$$Q_n = 60nzv. \quad (II, 60)$$

Если подставить в формулу (II, 60) вместо n его значение, выраженное через длину барабана L , шаг спирали S и время обработки банок в аппарате τ

$$n = \frac{L}{S\tau}, \quad (II, 61)$$

то получится, что

$$Q_n = \frac{60Lz}{S} \cdot \frac{v}{\tau}. \quad (II, 62)$$

Так как для таких аппаратов число банок, выходящих за каждый оборот, мало зависит от размеров банок (может, например, быть аппарат, выдающий за каждый оборот по одной банке любого размера), то производительность данного стерилизатора определяется величиной $\frac{v}{\tau}$, т. е. удельной скоростью прогресса.

А так как эта величина больше для крупных банок, то получается, что при использовании подобных стерилизаторов выгоднее применять более крупные банки.

Итак, в общем виде, можно сказать, что если стерилизаторы выдают за цикл работы *одинаковый вес* консервов, то выгоднее применять более мелкую расфасовку, если же стерилизаторы такой конструкции, что за один оборот они выдают *одинаковое число банок*, то целесообразнее использовать более крупную расфасовку.

О наиболее выгодном соотношении H/D . Выражение (II, 53) дает возможность выяснить приблизительное значение отношения H/D , которое является наиболее выгодным в смысле скорости прогресса консервных банок. При этом задача может ставиться двумя: а) при каком отношении H/D продолжительность прогресса банок, имеющих одинаковый объем, будет минимальна? б) при каком отношении H/D объем консервных банок, продолжительность прогресса которых одинакова, будет иметь максимальное значение?

а) условия задачи:

$$\tau = 8,3HD + D^2,$$

$$v = \text{const.}$$

Требуется найти значение H/D , при котором τ будет минимальным. Выразим H через v :

$$H = \frac{4v}{\pi D^2}$$

и подставим в уравнение (II, 53)

$$\tau = 8,3HD + D^2 = \frac{8,3 \cdot 4vD}{\pi D^2} + D^2 = \frac{8,3 \cdot 4v}{\pi D} + D^2.$$

Берем первую производную:

$$\frac{d\tau}{dD} = -\frac{8,3 \cdot 4v}{\pi D^2} + 2D$$

и приравняем ее нулю:

$$-\frac{8,3 \cdot 4v}{\pi D^2} + 2D = 0,$$

$$\frac{8,3 \cdot 4v}{\pi D^2} = 2D.$$

Подставляем вместо v его значение $\left(\frac{\pi D^2 H}{4}\right)$:

$$\frac{8,3 \cdot 4\pi D^2 H}{4\pi D^2} = 2D;$$

$$8,3H = 2D,$$

откуда

$$D = 4,15H,$$

а следовательно, найденное отношение

$$H/D \cong 0,25.$$

Для того, чтобы выяснить, минимальное ли это или максимальное значение функции, берем вторую производную:

$$\frac{d^2\tau}{dD^2} = \frac{8,3 \cdot 4v}{\pi D^3} + 2.$$

Таким образом, вторая производная положительна, значит функция в данной точке имеет минимальное значение.

Итак, при равных объемах консервных банок наименьшее время прогрева будет для той банки, у которой $H/D \cong 0,25$.

Пример. Определить время прогрева консервных банок, имеющих одинаковый объем, но разные отношения H/D : 4; 1; 0,25; 0,1.

$$\tau_1 = 8,3H_1D_1 + D_1^2 = 8,3 \cdot 4D_1D_1 + D_1^2 = 34,2D_1^2.$$

$$\tau_2 = 8,3H_2D_2 + D_2^2 = 8,3 \cdot D_2D_2 + D_2^2 = 9,3D_2^2.$$

Выразим D_2 через D_1 :

$$\frac{\pi D_1^3}{4} H_1 = \frac{\pi D_2^3}{4} H_2,$$

или

$$D_1^2 H_1 = D_2^2 H_2,$$

$$D_1^2 4D_1 = D_2^2 H_2,$$

$$4D_1^3 = D_2^3,$$

откуда

$$D_2 = \sqrt[3]{4} D_1 = 1,59D_1.$$

$$\text{Следовательно, } \tau_2 = 9,3D_2^2 = 9,3 (1,59D_1)^2 = 23,5D_1^2.$$

Пользуясь этим методом расчета, находим:

$$\tau_3 = 19,5D_1^2;$$

$$\tau_4 = 21,2D_1^2.$$

Таким образом, числовые примеры подтверждают, что τ имеет минимальное значение при $H/D = 0,25$; при значениях H/D больше или меньше 0,25 значение τ возрастает.

Графическая зависимость τ от H/D при $v = \text{const}$ представлена на рис. 21.

б) условия задачи:

$$\tau = 8,3HD + D^2,$$

$$\tau = \text{const}.$$

Требуется найти значение H/D , при которых v будет максимальным:

$$\tau = 8,3HD + D^2;$$

$$8,3HD = \tau - D^2.$$

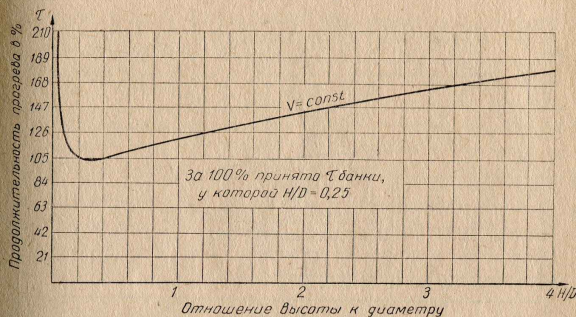


Рис. 21. Зависимость времени прогрева от отношения H/D ($v = \text{const}$).

Выразим H через v и найдем v :

$$\frac{8,3 \cdot 4vD}{\pi D^2} = \tau - D^2;$$

$$\frac{8,3 \cdot 4v}{\pi D} = \tau - D^2;$$

$$v = \frac{(\tau - D^2) \pi D}{8,3 \cdot 4} = \frac{\pi D \tau - \pi D^3}{8,3 \cdot 4};$$

$$v = \frac{\pi D \tau}{8,3 \cdot 4} - \frac{\pi D^3}{8,3 \cdot 4}.$$

Берем первую производную

$$\frac{dv}{dD} = \frac{\pi \tau}{8,3 \cdot 4} - \frac{3\pi D^2}{8,3 \cdot 4}$$

и приравняем ее нулю:

$$\frac{\pi \tau}{8,3 \cdot 4} - \frac{3\pi D^2}{8,3 \cdot 4} = 0;$$

$$\frac{\pi \tau}{8,3 \cdot 4} = \frac{3\pi D^2}{8,3 \cdot 4};$$

$$\tau = 3D^2.$$

Подставляем это значение τ в уравнение (11, 53):

$$\begin{aligned}\tau &= 8,3HD + D^2; \\ 3D^2 &= 8,3HD + D^2; \\ 8,3HD &= 2D^2,\end{aligned}$$

откуда

$$D = 4,15H,$$

а следовательно, найденное отношение

$$H/D \approx 0,25.$$

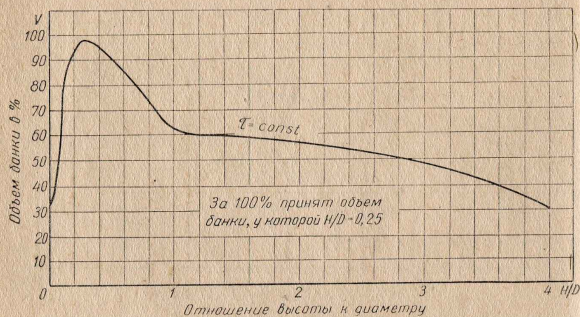


Рис. 22. Зависимость объема банки от отношения H/D ($\tau = \text{const}$)

Берем вторую производную:

$$\frac{d^2v}{dD^2} = -\frac{6\pi D}{8,3 \cdot 4}.$$

Поскольку вторая производная отрицательна, постольку функция в данной точке имеет максимальное значение.

Итак, если время прогрева банок с разным отношением H/D одинаково, то наибольший объем будет у той банки, у которой $H/D \approx 0,25$.

Графическая зависимость v от H/D при $\tau = \text{const}$ представлена на рис. 22.

Нужно сказать, что результаты, полученные в части наиболее выгодного отношения H/D , являются весьма приближенными, ибо формула В. З. Жадана точна в сравнительно небольшом диапазоне H/D .

в. Начальная температура консерва

Под начальной температурой продукта понимают температуру продукта в начале стерилизации. Влияние этого фактора на время прогрева зависит от физических свойств продукта, т. е. от того, распространяется ли в этом продукте тепло с помощью конвекции или теплопроводности.

В жидких продуктах конвективные токи при нагревании настолько сильны, что начальная температура консерва не слишком значительно отражается на времени прогрева.

Из рис. 23 видно, что к концу периода подогрева в центре бутылки с вишневым соком, расфасованным при 16°C , достигается та же температура, что и в центре бутылки с соком, расфасованным при 70°C , причем отставание кривых прогрева продукта от кривой прогрева воды в стерилизационном аппарате невелико.

Если же продукт густой, вязкий или твердый и тепло в нем распространяется преимущественно путем теплопроводности, то

начальная температура консерва заметно влияет на время прогрева. В этом случае банка с холодным содержимым прогревается дольше, чем банка с горячим содержимым.

Исходя из своей общей формулы (11, 50), В. З. Жадан вывел приближенные формулы, по которым можно рассчитать время прогрева банок с холодным и горячим содержимым:

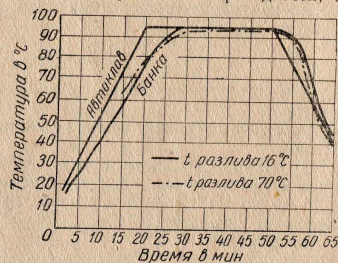


Рис. 23. Зависимость прогреемости от начальной температуры продукта.

$$\tau_{\text{гор}} = \frac{0,061(8,3HD + D^2)}{\lambda}, \quad (11,63)$$

$$\tau_{\text{хол}} = \frac{0,072(8,3HD + D^2)}{\lambda}, \quad (11,64)$$

где $\tau_{\text{гор}}$ — время прогрева для банок с горячим содержимым;

$\tau_{\text{хол}}$ — время подогрева для банок с холодным содержимым.

При выводе этих приближенных формул было допущено следующее:

1. Температура консерва в конце стерилизации отличается на 1° от температуры стерилизации.
2. Температура стерилизации находится в интервале $110\text{—}120^\circ\text{C}$.
3. Холодным содержимым считается продукт, расфасованный в интервале температур $20\text{—}40^\circ\text{C}$, а горячий — в интервале $50\text{—}90^\circ\text{C}$.

Из сопоставления формул (11, 63 и 11, 64) видно, что повышение начальной температуры консерва должно сократить время прогрева на

$$\frac{0,072 - 0,061}{0,061} \cdot 100 = 18\%.$$

Нужно сказать, что с практической стороны в настоящее время представляют интерес именно эти приближенные формулы (II, 63 и II, 64), а не точная формула (II, 50). Стерилизации обычно так и проводят, чтобы температура консерва в конце прогрева отличалась от температуры стерилизации примерно на 1°C , что и положено в основу расчета.

Говоря о разнице между температурой греющей среды и конечной температурой консерва, следует отметить, что чем больше отличаются друг от друга заданная температура в центре в конце прогрева от температуры стерилизации, тем время прогрева будет меньше.

Это положение особенно отчетливо видно при рассмотрении формулы (II, 46):

$$B = f_n \log \frac{d}{g},$$

где g и есть упомянутая разница $T_A - T_{Ц}$: чем больше g , тем меньше B .

Аналогичный вывод можно сделать при анализе формулы (II, 50).

Пример: Определить время, необходимое для прогрева консерва «тушеное мясо» в банке, размеры которой $(D \times H) 100 \times 45 \text{ мм}$, до 111°C при температуре греющей среды в стерилизационном аппарате 120°C .

По формуле (II, 50)

$$\tau = \frac{(8,3HD + D^2) \left(19 - \frac{1}{\log \delta - 0,01} \right)}{1133k} =$$

$$= \frac{(8,3 \times 4,5 \times 10 + 10^2) \left(19 - \frac{1}{\log \frac{111 - 20}{120 - 20} - 0,01} \right)}{1133 \cdot 0,4} = 41 \text{ мин.}$$

При сопоставлении этого результата с временем, полученным для этой же банки при условии, что температура греющей среды превышала на 1° заданную температуру в конце прогрева, видно, что в данном примере время прогрева сокращается в 2,1 раза.

Отсюда видна целесообразность изменения существующего метода подогрева банок в стерилизационном аппарате. Сущность этого изменения, предложенного в свое время Д. Шамисом, заключается в следующем: допустим, что данный консерв рекомендуется стерилизовать при 112°C ; тогда, с целью ускорения прогрева, в стерилизационном аппарате создают вначале температуру на несколько градусов выше температуры стерилизации, например 120°C . При этом заданная температура в центре банки в 111°C будет достигнута значительно раньше, чем если бы мы пользовались греющим агентом с температурой в 112°C .

Когда же заданная температура в центре банки достигнута, температуру греющего агента в стерилизационном аппарате сни-

жают до температуры стерилизации, т. е. в данном примере до 112°C , и продолжают стерилизацию. Общий цикл стерилизации при таком методе прогрева может быть значительно сокращен.

Этот оригинальный метод прогрева получил название «ступенчатой» стерилизации. По ряду причин он пока не нашел практического применения. Одним из возражений против применения такого метода подогрева являлось соотношение об-

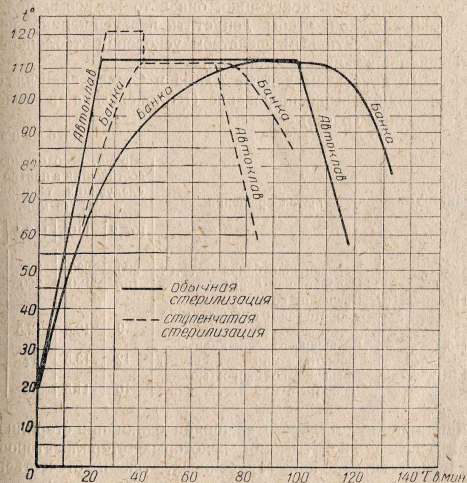


Рис. 24. График прогрееваемости при ступенчатой стерилизации.

усложнении режима стерилизации и о затруднительности контроля над работой стерилизатора. Нужно, однако, сказать, что при наличии автоматических контрольно-регулирующих приборов это основное возражение снимается и, возможно, что ступенчатая стерилизация найдет себе со временем применение в консервном производстве. На рис. 24 показана диаграмма ступенчатой стерилизации в сопоставлении с обычной стерилизацией.

г. Состояние банки во время стерилизации

Большинство применяемых в промышленности стерилизационных аппаратов устроено так, что банка во время стерилизации остается неподвижной. Поэтому время прогрева продукта обус-

ловлено, как уже отмечалось выше, теми или иными естественными условиями теплопередачи. Вместе с тем, если осуществить принудительное вращение банки во время стерилизации, то в результате перемешивания содержимого время прогрева продукта можно значительно ускорить.

Влияние вращения банки при стерилизации зависит от консистенции консерва, но для продуктов, консистенция которых такова, что, затрудняя конвекцию, она в то же время является достаточно подвижной, чтобы допустить перемешивание, вращение является эффективным средством ускорения теплопередачи и уменьшения времени стерилизации.

В табл. 10 приведены данные Адама и Стенворса, иллюстрирующие указанное выше положение (теплопередача в консерве «бобы в томатном соусе»).

Таблица 10

Температура стерилизации (в °С)	Метод вращения	Время, необходимое для достижения в центре банки следующих температур в °С (в мин.)			
		107,2	110	112,8	115,5
		115,5	Неподвижная банка	200	235
121,1	Неподвижная банка	165	190	220	260
115,5	Вращение со скоростью 5 оборотов за 10 сек. в течение 20 сек.	9	10,5	12,5	—
115,5	Вращение со скоростью 4 оборота в мин.	12	13,5	17	—
121,1	Вращение со скоростью 4 оборота в мин.	10	11,5	13	16

Принцип принудительного вращения банки при стерилизации положен в основу конструкции некоторых стерилизаторов непрерывного действия как зарубежных, так и отечественного производства.

Глава III

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СТЕРИЛИЗАЦИИ КОНСЕРВОВ

1. Основные понятия и предпосылки

Ранее было отмечено, что при расчете времени стерилизации было бы неточно ограничиться простым сложением времени прогрева центра банки со смертельным временем, ибо при таком расчете предполагается, что микробы, находящиеся в центре банки, начинают погибать только *по достижении* центром заданной температуры стерилизации. Между тем из всего изложенного выше ясно, что микробы, находящиеся в центре, начнут погибать *гораздо раньше*, чем в центре будет достигнута заданная температура стерилизации.

Фактически уничтожение микробов начнется с того момента, когда центр банки прогреется *до любой температуры, дающей смертельный эффект*. Смертельный же эффект достигается в очень широком интервале температур, начиная примерно с 60°С. Конечно, для достижения смертельного эффекта при более низких температурах требуется значительно больше времени, чем при высоких температурах, но пренебрегать стерилизующим значением температур более низкого уровня, чем температура стерилизации, нельзя.

Если рассмотреть с этой точки зрения кривые проникновения тепла в центр банки, то можно заметить, что микроорганизмы, находящиеся в этом месте, испытывают на себе действие температур, имеющих смертельный эффект не только в период прогрева, но и в период охлаждения. Поэтому ясно, что при расчете общего времени стерилизации нужно учесть смертельный эффект, испытываемый микробами на широком участке кривой, как в период подогрева, так и в период охлаждения, а не только в тот период, когда температура в центре достигла заданного уровня стерилизации.

Переходя далее к математическому расчету продолжительности стерилизации, следует сказать, что в основе этого расчета

лежит предпосылка, выдвинутая Бигеллоу, которая заключается в том, что стерилизация при постоянной температуре совершается с некоторой постоянной скоростью; другими словами, принимается, что в продукте, нагретом до некоторой определенной температуры, дающей смертельный эффект, за равные промежутки времени погибает всегда равное количество бактерий.

В связи с этим для оценки стерилизующего эффекта любой данной температуры введено понятие о «смертельной скорости», представляющей собой величину, обратную смертельному времени. Так, например, если смертельное время для спор какого-либо микроорганизма при 125°C определено в 12 мин., то смертельная скорость для этой температуры равна $1/12$. Это означает, что за каждую минуту выдержки консерва при температуре 125°C погибает $1/12$ часть всех подвергнувшихся нагреванию микробов. Если же прогрев спор вести при более низкой температуре, скажем, при 100°C, когда смертельное время возрастает до 300 мин., то смертельная скорость в этом случае уменьшится до $1/300$. Таким образом, можно сказать, что смертельный эффект обратно пропорционален смертельному времени и прямо пропорционален смертельной скорости. В данном примере смертельный эффект при 125°C в 25 раз больше, чем при 100°C.

Введение понятия о смертельной скорости дает возможность количественно учесть стерилизующий эффект процесса стерилизации, т. е. долю уничтоженных при стерилизации микробов. Представление об учете стерилизующего эффекта данного процесса можно получить из нижеследующих рассуждений.

Если обозначить смертельную скорость при данной температуре через L_t , а время, в течение которого в банке поддерживается данная температура, — через τ_t , то произведение из L_t на τ_t даст ту долю первоначального количества микробов, которая уничтожена за данный промежуток времени (D_t)

$$D_t = L_t \tau_t \quad (III, 1)$$

Эту величину D_t можно назвать *стерилизующим значением данного отрезка времени*.

Если, например, скорость уничтожения микробов при 100°C равна $1/300$, а температура в 100°C поддерживалась в течение 10 мин., то стерилизующее значение данного отрезка времени D_{100} будет равно:

$$D_{100} = 1/300 \cdot 10 = 1/30, \text{ или } \approx 0,03.$$

Иными словами, за 10 мин. при 100°C уничтожается $1/30$ часть всех имевшихся в банке микробов. Следовательно, для того, чтобы определить общий стерилизующий эффект какого-то отрезка времени, в течение которого температура в банке постепенно изменялась, необходимо просуммировать стерилизующие значения отдельных участков этого отрезка времени, на которых некоторое

время поддерживалась постоянная температура (т. е. сложить $D_{t1}, D_{t2}, D_{t3}, \dots D_{tn}$):

$$D_0 = D_{t1} + D_{t2} + D_{t3} + \dots + D_{tn} \quad (III, 2)$$

Допустим, для примера, что стерилизация проводилась так, что температура 100°C поддерживалась в центре банки в течение 10 мин., а температуры в 105, 110, 115, 120 и 125°C — по 5 мин. каждая. Определим стерилизующий эффект D_0 этого 35-минутного процесса в отношении *Cl. botulinum*. Пользуясь данными А. Рогачевой из табл. 1, получим:

$$\begin{aligned} D_{100} &= 1/300 \cdot 10 = 1/30 = 0,03; \\ D_{105} &= 1/85 \cdot 5 = 1/17 = 0,06; \\ D_{110} &= 1/70 \cdot 5 = 1/14 = 0,07; \\ D_{115} &= 1/45 \cdot 5 = 1/9 = 0,11; \\ D_{120} &= 1/24 \cdot 5 = 5/24 = 0,21; \\ D_{125} &= 1/12 \cdot 5 = 5/12 = 0,42. \end{aligned}$$

Таким образом, общий стерилизующий эффект равен $0,03 + 0,06 + 0,07 + 0,11 + 0,21 + 0,42 = 0,90$ и, значит, за указанный отрезок времени было уничтожено только 90% всех имевшихся микробов, и полная стерильность достигнута не была.

Из этого примера видно, что для определения стерилизующего эффекта данного режима стерилизации необходимо в качестве исходных данных иметь графики проникновения тепла в центр банки при стерилизации (кривые прогресса) и сведения о скорости уничтожения микробов при разных температурах (кривые смертельного времени).

2. Графический метод Бигеллоу

Пользуясь понятием о стерилизующем эффекте, Бигеллоу, Бохарт, Ричардсон и Болл предложили графический метод определения необходимого времени стерилизации, получивший в литературе название «общего метода». Этот метод расчета заключается в следующем: по имеющимся экспериментальным данным строится график проникновения тепла в центр банки для того режима стерилизации, эффективность которого следует определить. При этом, как обычно, на горизонтальной оси откладывается время, начиная от момента пуска пара в автоклав и кончая выгрузкой банок из аппарата. На вертикальной оси откладывается температура в центре банки.

Каждая точка на полученной кривой характеризует, таким образом, температуру в центре банки в любой момент процесса стерилизации (рис. 25 а). Однако из того, что было сказано ранее, ясно, что каждая точка кривой должна характеризоваться не только определенными координатами времени и температуры, но и определенной смертельной скоростью, зависящей от данной

температуры. Эта зависимость иллюстрирована кривой, показанной на рис. 25 б.

На нижней горизонтальной оси x' графика (рис. 25 б) отложено смертельное время (в порядке возрастания слева направо), на вертикальной — соответствующие температуры. В таком виде график характеризует изменение смертельного времени в зависимости от изменения температуры. Изображенная на графике кривая показывает, что зависимость эта обратная. Но этот же график может стать иллюстрацией зависимости смертельной скорости от температуры, если на другой горизонтальной оси X'' (проведенной над кривой, в верхней части графика) отложить

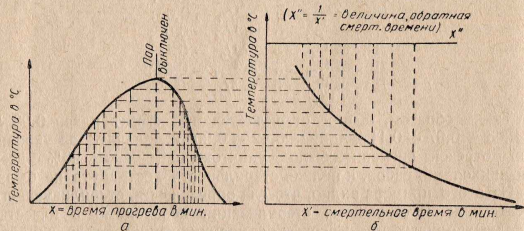


Рис. 25. Сопоставление кривой прогрева и кривой смертельного времени.

величины смертельной скорости, т. е. величины, обратные смертельному времени. При этом значения смертельной скорости откладываются на ось X'' в порядке убывания слева направо; следовательно, наименьшему значению величин на нижней горизонтальной оси соответствует наибольшее значение на верхней горизонтальной оси.

Если теперь рассмотреть кривую, обращая внимание на *верхнюю* горизонтальную ось, то она предстанет, как кривая смертельной скорости, причем из графика видно, что зависимость между температурой прогрева и смертельной скоростью прямая.

При таком расположении рисунков 25 а и 25 б легко найти значения смертельной скорости в любой момент стерилизации. Для этого нужно из любой интересующей нас точки на горизонтальной оси (рис. 25 а) провести вертикальную пунктирную линию до пересечения ее с кривой, а затем из точки пересечения провести пунктирную линию по горизонтали до пересечения ее с кривой на рис. 25 б и, наконец, провести из этой точки пересечения вертикальный пунктир вверх до пересечения его с верхней горизонтальной осью X'' . Полученная точка укажет искомое значение смертельной скорости, соответствующее заданному моменту стерилизации.

На основании этих двух кривых можно построить так называемую *кривую смертности*, показывающую изменение смертельной скорости на протяжении всего процесса стерилизации. Для построения этой третьей кривой (рис. 26) в качестве абсцисс использованы значения горизонтальной шкалы (рис. 25 а), а в качестве ординат — значения верхней горизонтальной оси (рис. 25 б), но только уже «нормально», т. е. в возрастающем порядке снизу вверх.

Кривая смертности дает возможность непосредственно определить стерилизующий эффект данного режима стерилизации, т. е. определить долю уничтоженных за данный промежуток времени микробов, что легко узнать из следующего рассуждения. Выберем короткий промежуток времени на горизонтальной оси, например от момента a_1 до момента a_2 . В начале этого отрезка смертельная скорость была a_1b_1 , в конце его — a_2b_2 . Если точки a_1 и a_2 взять близко друг к другу, то a_1b_1 мало отличается от a_2b_2 и, сделав небольшую ошибку, можно считать, что в промежутке a_1a_2 смертельная скорость в центре банки была постоянной и равнялась a_1b_1 . Таким образом, площадь заштрихованного прямоугольника на рис. 26 $a_1b_1a_2$ представляет собой произведение из смертельной скорости a_1b_1 на время прогрева a_1a_2 , т. е. стерилизующее значение этого промежутка времени — долю первоначального количества микробов, которая уничтожена за данный промежуток времени.

Точно так же можно найти, что стерилизующее значение следующего отрезка времени a_2a_3 равно площади такого же очередного прямоугольника и т. д. Из рис. 26 видно, что сумма всех этих площадей будет равна площади, ограниченной кривой смертности. Таким образом, величина площади, ограниченной кривой смертности, показывает долю микробов, которая была уничтожена в результате всего процесса стерилизации, включая нагревание и охлаждение. Эта величина, как уже отмечалось, называется стерилизующим эффектом процесса стерилизации.

Если величина этой площади меньше единицы, значит режим стерилизации был недостаточным. Когда площадь, ограниченная кривой смертности, равна единице, значит уничтожены все микробы и, следовательно, стерилизация проведена правильно. Если же величина этой площади будет больше единицы, то это означает, что консерв стерилизовался излишне долго, т. е. подвергался некоторое время действию высокой температуры уже после того, как микробы были уничтожены.

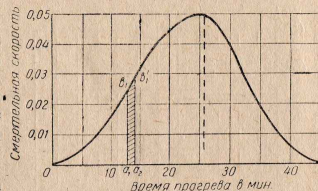


Рис. 26. Кривая смертности.

Итак, можно сказать, что условия стерилизации выбраны правильно лишь в том случае, если площадь, ограниченная кривой смертности, равна единице. Но эта кривая построена целиком по кривой проникновения тепла в центр банки, значит величина площади, ограниченной кривой смертности, зависит от кривых прогресса и охлаждения. Изменяя кривую проникновения тепла в центр банки (например, сокращая длительность нагревания), можно всегда изменить площадь, ограниченную кривой смертности, доведя ее до единицы.

Практически определение необходимого времени стерилизации по общему методу производится следующим образом: допустим,

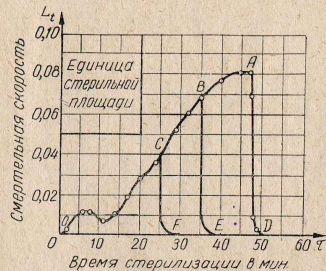


Рис. 27. Графический метод определения времени стерилизации.

микрофлоры, который может развиваться в данном консерве, вызывать его порчу и который является наиболее опасным для здоровья (например, *cl. botulinum*). Наконец, рассчитаем соответственно каждой цифре смертельного времени обратные величины смертельной скорости и запишем эти данные в графу 4 таблицы.

Теперь на основании данных граф 1 и 4 построим на клетчатой бумаге кривую смертности (рис. 27), откладывая на горизонтальной оси время стерилизации, а на вертикальной — смертельную скорость.

Далее задача заключается в том, чтобы вычислить площадь $OADO$, ограниченную полученной кривой, и рассчитать, во сколько раз эта площадь больше или меньше «единицы стерильной площади».

Этим термином обозначается такая площадь на диаграмме смертности, которая именно и характеризует полную стерильность. Величина «единица стерильной площади» зависит от выбранных для построения данной диаграммы смертности шкал на горизонтальной и вертикальной осях. Для того, чтобы найти

что мы измеряли изменение температуры в центре банки при стерилизации по какому-то наперед заданному режиму и желаем определить насколько этот режим эффективен. Записав полученные экспериментальные данные в таблицу (табл. 11, графы 1 и 2) и не прибегая к построению кривых прогресса и охлаждения, внесем в эту же таблицу справочные данные о смертельном времени (графа 3).

При выборе этих данных ориентируются на тот вид

Время от начала стерилизации (в мин.)	Температура в центре (в °C)	Смертельное время (в мин.)	Смертельная скорость (1/мин.)
0	28	—	—
2	103	670	0,0015
4	110	129	0,0078
6	112	88	0,0114
8	112	88	0,0114
11	109	165	0,0061
14	111	100	0,0100
17	117	53	0,0189
20	115,5	36	0,0278
24	116,5	28	0,0357
29	118,5	19	0,0526
32	119	16,7	0,0599
35	119,5	14,8	0,0676
40	120	13	0,0769
45	120,5	12,4	0,0806
47	120,5	12,4	0,0806
47,5	119,5	14,8	0,0676
48	110	129	0,0078
49	103	670	0,0015

эту величину, нужно построить на диаграмме смертности прямоугольник такого размера, чтобы произведение из его высоты на ширину равнялось единице. Например, на рис. 27 единица стерильной площади представляет собой прямоугольник, высота которого равна 0,05 по шкале смертельной скорости, а ширина — 20 мин. по шкале времени. Отсюда площадь его равна $0,05 \times 20 = 1$. Заметим при этом, что единица стерильной площади занимает в нашей диаграмме 20 квадратов. Вычисление площади, ограниченной кривой, показывает, что она составляет 38,4 квадрата. Значит эта площадь равна $\frac{38,4}{20} \cdot 100 = 192\%$ стерильной площади, а следовательно, проведенный режим стерилизации оказался почти в два раза дольше необходимого.

Теперь необходимо так изменить площадь, ограниченную кривой смертности, чтобы она как раз равнялась единице. Эта «подгонка» производится путем «перемещения» влево кривой охлаждения AD до какой-либо произвольной, наугад взятой, точки и вычисления вновь полученной урезанной площади.

Допустим, что мы решаем прекратить стерилизацию и начать охлаждение не через 47 мин., как это было сделано в начале, а через 25 мин., (точка C). Тогда проводим из точки C кривую охлаждения CF , подобную первоначальной кривой охлаждения AD . Получилась новая площадь $OCFO$, величина которой при подсчете оказывается равной всего 42% единиц стерильной площади, т. е. значительно меньше, чем нужно. «Перевинем» теперь кривую охлаждения до 35-й минуты (точка B) и вычис-

лим получившуюся площадь *ОВЕО*. Эта площадь составляет уже 19,4 квадрата, или же 97% единицы стерильной площади, т. е. очень близка к необходимой. Графическая интерполяция показывает, что полная стерильность достигается после нагревания в течение 35,5 минут.

Как видно из приведенного примера, графический метод определения необходимой продолжительности стерилизации, который можно охарактеризовать как метод «подбора и поправок», является трудоемким и громоздким.

3. Аналитический метод Болла

а. Сущность расчета

Исходя из тех же представлений, которые легли в основу графического метода, Чарльз Болл разработал аналитический метод расчета продолжительности стерилизации. Этот метод заключается в непосредственных математических вычислениях, основанных на выведенных формулах. Расчетные формулы получены путем интегрирования стерилизующих значений, соответствующих всем точкам кривых прогресса и охлаждения.

Выше был приведен пример расчета стерилизующего эффекта определенного периода времени, в течение которого температура несколько раз скачкообразно изменялась, причем каждый раз поддерживалась на определенном отрезке этого периода постоянной. Этот простой пример был приведен только для уяснения понятия стерилизующего эффекта. Фактическая же картина стерилизации представляет собой гораздо более сложное явление, при котором температура в центре банки меняется не скачкообразно, а непрерывно и удерживается на постоянном уровне в течение бесконечно малого промежутка времени. Поэтому и суммирование стерилизующих значений вдоль кривых прогресса и охлаждения можно произвести только с помощью дифференциального и интегрального вычислений.

Необходимо отметить, что хотя сам вывод расчетных формул и пояснения к этому выводу весьма длительны, кропотливы и несколько трудны для уяснения, пользование готовыми формулами весьма просто и сводится к нескольким алгебраическим действиям.

Представим себе, что некоторый режим стерилизации, эффективность которого мы желаем рассчитать, характеризуется кривыми прогресса и охлаждения, показанными на рис. 28. Каждая точка на этой кривой характеризует, как уже отмечалось, три фактора режима стерилизации: время, температуру (непосредственно) и смертельную скорость (косвенно). Таким образом, каждая точка кривой характеризуется определенным стерилизующим значением и, решив задачу по суммированию стерилизующих значений каждой точки кривой, мы тем самым определяем стерилизующий эффект всего процесса.

Чтобы лучше уяснить вывод формул, выделим символическую полоску вдоль кривых нагревания и охлаждения, имеющую постоянную (в направлении ординаты) ширину, равную единице. Разделим, далее, эту полоску на элементы, имеющие бесконечно малую протяженность по горизонтали dx . Таким образом, каждый элемент имеет протяженность поперек полоски в направлении ординаты, равную единице, ширину — dx и пло-

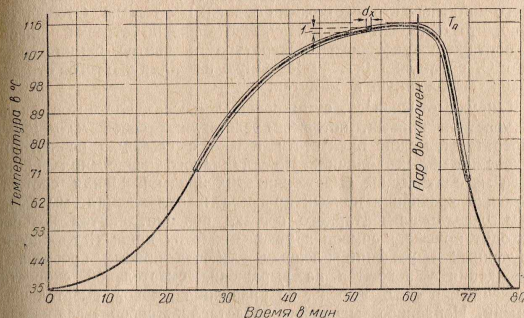


Рис. 28. К выводу аналитического метода Болла

щадь, равную dx . По сути, под площадью такого элемента понимается момент времени, соответствующий определенной температуре. Поэтому, хотя эти элементы имеют одну и ту же номинальную величину dx , стерилизующее значение их не одно и то же. Подобно тому, как атомный вес химического элемента определяется его положением в периодической таблице, так и «вес» (т. е. стерилизующее значение) каждого из данных элементов зависит от положения его на кривой относительно температурной шкалы. Это нужно понимать в том смысле, что каждой температуре соответствует определенная смертельная скорость. «Вес» же элемента зависит от его смертельной скорости, а именно: выражается как произведение из смертельной скорости на площадь элемента. Например, для элемента с площадью dx и смертельной скоростью 0,1 «вес» равен 0,1 dx . Просуммировав «весы» всех элементов, находящихся на кривых нагревания и охлаждения, заключенных в эту символическую полоску, мы получим стерилизующий эффект процесса стерилизации.

Объясним процесс суммирования на примере. Допустим, что кривая на рис. 28 достигает температуры 115,5°C и держит некоторое время на этом уровне. Вдоль этой горизонтальной час-

ти кривой (т. е. при $115,5^{\circ}\text{C}$) все элементы равного размера имеют одинаковый «вес». Если мы основываем данный режим стерилизации на кривой смертельного времени для микробов, которые погибают, скажем, за 10 минут при $115,5^{\circ}\text{C}$, то «вес» каждого из этих элементов равен $0,1 dx$. Площадь всех элементов на отрезке кривой прогресса, простирающемся на расстоянии, ограниченном одной минутой времени, равна единице (единица — по ординате и единица по горизонтали $1 \times 1 = 1$). Поэтому «вес» такого минутного отрезка полосы будет $0,1 \times 1 = 0,1$. Отсюда понятно, что «вес», или стерилизующее значение отрезка кривой, на протяжении которого температура в центре банки равна $115,5^{\circ}\text{C}$, составляет $0,1$, умноженную на длину этого отрезка кривой, выраженную в минутах.

Как уже отмечалось, суммирование «весов» элементов вдоль тех участков кривых, которые представляют собой *меняющиеся* температуры, можно произвести только с помощью исчисления бесконечно малых величин. Но для такого исчисления нужно найти математические выражения этих кривых. Найдя соответствующие уравнения кривых прогресса и охлаждения, мы выразим площадь элементарного отрезка полосы, внутри которой проходят кривые, в символах уравнений этих кривых. Каждое из полученных выражений площади элемента кривых прогресса и охлаждения умножается на выражение смертельной скорости, полученное, в свою очередь, из уравнения кривой смертельного времени. Найденное выражение представляет собой «вес» каждого из элементов в полоске, обволакивающей соответствующие кривые. Вычисленные функции интегрируются в определенных пределах и результаты суммируются, давая стерилизующий эффект всего процесса стерилизации.

Итак, весь расчет продолжительности стерилизации сводится к вычислению интеграла $\int y' dx$, где y' — смертельная скорость, dx — элементарный отрезок времени на кривой прогресса или охлаждения, $y' dx$ — «вес» элементарного отрезка кривой, или же его стерилизующее значение. $\int y' dx$ представляет собой стерилизующий эффект процесса стерилизации, характеризуемого данными кривыми прогресса и охлаждения, или же, что одно и то же, — площадь, ограниченную кривой смертности, непосредственно в данных рассуждениях не фигурирующей.

Таким образом, схематически ход расчета следующий:

1. Находим уравнение кривой смертельного времени и определяем из этого уравнения выражение для смертельной скорости, т. е. y' .
2. Находим уравнение кривой прогресса, из которого путем дифференцирования и других преобразований определяем выражение для элементарного отрезка времени прогресса dx .
3. Находим уравнение кривой охлаждения, из которого путем аналогичных преобразований определяем выражение для элементарного отрезка времени охлаждения dx .

4. Перемножаем выражения из пунктов 1 и 2, а также 1 и 3 и получаем подинтегральные функции $y' dx$ и $y' dx_0$.

5. Интегрируем эти функции в определенных пределах и суммируем полученные результаты.

Из всего сказанного следует, что в основу аналитического расчета продолжительности стерилизации положены уравнения кривых смертельного времени, прогресса и охлаждения, обработкой которых получаются подинтегральные функции.

б. Уравнение кривых

Уравнение кривой смертельного времени (II, 5) имеет, как отмечалось ранее, следующий вид:

$$\frac{x}{z} = \log \frac{y}{z}.$$

Имея в виду, что кривая смертельного времени интересует нас в данном случае не вообще, а в связи с кривой прогресса, Ч. Болл принял в этом уравнении в качестве мерла для сравнения смертельное время t , соответствующее максимальной температуре в центре банки. Тогда x — абсцисса любой точки кривой — выражает разницу в градусах между максимальной температурой центра банки и температурой в любой данной точке кривой, y — ордината любой данной точки кривой, т. е. смертельное время, соответствующее данной температуре в этой любой точке.

Примечание. В дальнейшем оказалось, что выбор мерла для сравнения смертельного времени, соответствующего максимальной температуре в центре банки, неудачен, ибо при решении поставленной задачи максимальная температура в центре банки является такой же неопределенной, по сути, искомой величиной, как и любая другая данная температура в центре банки. Однако мы сохраняем первоначальный вариант расчета, чтобы показать происхождение основной формулы Болла, которая впоследствии была несколько видоизменена.

Уравнение кривой нагревания определяется выражением (II, 35):

$$\frac{x_h}{t_h} = \log \frac{y_h}{g},$$

которое было подробно проанализировано ранее.

Что касается кривой охлаждения, то принимается, что она прямо противоположна кривой нагревания, т. е. в начале охлаждения происходит некоторая задержка, из-за которой этот отрезок кривой не выпрямляется, а далее начинается логарифмическая кривая, т. е. на данной сетке — прямая.

В отличие от кривой нагрева, здесь нельзя пренебречь периодом «запаздывания» ибо на этом отрезке температуры в центре банки высоки и имеют высокий стерилизующий эффект. Исследование этого криволинейного отрезка кривой охлаждения показало, что он представляет собой гиперболу.

В дальнейшем принято, что при охлаждении консервная банка немедленно погружается в холодную воду, температура которой на m° ниже максимальной температуры в центре банки или на $(m + g)^{\circ}$ ниже температуры автоклава.

Примечание: Обозначим T_A — температуру автоклава, T_{II} — максимальную температуру в центре банки и T_B — температуру охлаждающей воды. Тогда, согласно принятому ранее, $T_A - T_{II} = g$; согласно же только что отмеченному положению $T_{II} - T_B = m$. Складывая эти два равенства, получаем $T_A - T_{II} + T_{II} - T_B = m + g$,

или же

$$T_A - T_B = m + g.$$

Пользуясь приведенным выше ходом рассуждения (II, 2а), получаем уравнение для логарифмической части кривой охлаждения, которое совершенно аналогично уравнению кривой нагрева:

$$\frac{x_{ox}}{f_{ox}} = \log \frac{y_{ox}}{q}. \quad (III, 3)$$

В этом уравнении x_{ox} показывает разность в минутах во времени между выпуском пара и какой-либо точкой на кривой. x_{ox} увеличивается вправо от оси y_{ox} , являющейся вертикальной линией, проведенной в точке выпуска пара (т. е. начала охлаждения). f_{ox} представляет наклон кривой и находится таким же образом, как f_h кривой нагрева. Что касается q , то это выраженная в градусах ордината точки пересечения логарифмической части кривой охлаждения с осью y_{ox} .

Наконец, уравнение гиперболической части кривой охлаждения имеет вид:

$$\frac{y_r^2}{a^2} - \frac{x_r^2}{b^2} = 1. \quad (III, 4)$$

Здесь \bar{a} — действительная полуось гиперболы, направленная по оси \bar{y} , \bar{b} — мнимая полуось гиперболы.

в. Вывод формулы

Выше отмечалось, что расчет продолжительности стерилизации консервов сводится к вычислению интеграла $\int y' dx$, где y' — смертельная скорость, dx — элементарный отрезок времени на кривых прогрева и охлаждения. Таким образом, задача заключается в том, чтобы решить три интеграла: $\int y' dx_n$, $\int y' dx_o$ и $\int y' dx_r$ и найти их сумму (здесь dx_n — элементарный отрезок времени на кривой нагрева, dx_o — такой же отрезок на логарифмической части кривой охлаждения, dx_r — элементарный отрезок кривой охлаждения на ее гиперболической части).

Поскольку уравнения всех кривых, вдоль которых ведется интегрирование, известны, постольку не трудно определить из них и нужные значения y' , dx_n , dx_o и dx_r .

Определение y' . y' есть величина обратная смертельному времени t :

$$y' = \frac{1}{t}.$$

Значение же y следует взять из уравнения кривой смертельного времени (II, 5)

$$\frac{x}{z} = \log \frac{y}{l}.$$

Отсюда, как отмечалось,

$$\frac{y}{l} = 10^{\frac{x}{z}},$$

$$y = t 10^{\frac{x}{z}},$$

а следовательно, смертельная скорость

$$y' = \frac{1}{t 10^{\frac{x}{z}}}. \quad (III, 5)$$

Определение dx_n . Из уравнения кривой нагрева (II, 35)

$$\frac{x_h}{f_h} = \log \frac{y_h}{g}$$

получаем значение v_h :

$$v_h = f_h \log \frac{y_h}{g} = f_h \log t/h - f_h \log g,$$

откуда после дифференцирования находим

$$dx_h = f_h \frac{dy_h}{y_h}. \quad (III, 6)$$

Определение dx_{ox} . Из уравнения логарифмической части кривой охлаждения (III, 3)

$$\frac{x_{ox}}{f_{ox}} = \log \frac{y_{ox}}{q}$$

получаем значение x_{ox} :

$$x_{ox} = f_{ox} \log y_{ox} - f_{ox} \log q,$$

откуда после дифференцирования находим

$$dx_{ox} = f_{ox} \frac{dy_{ox}}{y_{ox}}. \quad (III, 7)$$

Определение dx_r . Наконец, из уравнения гиперболической части кривой охлаждения (III, 4)

$$\frac{y_r^2}{a^2} - \frac{x_r^2}{b^2} = 1$$

получаем значение x_r :

$$x_r = b \sqrt{\frac{y_r^2}{a^2} - 1},$$

откуда после дифференцирования находим

$$dx_r = \frac{b}{a^2} \frac{y_r dy_r}{\sqrt{\frac{y_r^2}{a^2} - 1}}. \quad (III, 8)$$

Теперь, прежде чем перемножить выражения (III, 5) — (III, 6), (III, 5) — (III, 7) и (III, 5) — (III, 8), выразим в уравнении (III, 5)

$$y = \frac{1}{t 10^{\frac{x}{z}}}$$

x также в зависимости от свойств кривых, вдоль которых взят элемент интегрирования dx .

x показывает разность между максимальной температурой банки и температурой, соответствующей какой-либо точке на кривой смертельного времени. Следовательно, применительно к кривой нагрева

$$x = v_h - g.$$

Примечание: Если обозначить температуру автоклава T_A , а температуру любой точки кривой нагрева — T_G , то $y_h = T_A - T_G$. Что касается g , то $g = T_A - T_{11}$, где T_{11} — максимальная температура в центре банки. Тогда $y_h - g = T_A - T_G - T_A + T_{11} = T_{11} - T_G$. Но эта разность $T_{11} - T_G$ и есть то, что понимается под x .

Для логарифмической части кривой охлаждения

$$x = m - y_{ox}$$

Для гиперболической части кривой охлаждения

$$x = y_g - a.$$

Отсюда, заменив этими выражениями величину x в уравнении (III, 5), получим после перемножения уравнений (III, 5)—(III, 6), (III, 5)—(III, 7) и (III, 5)—(III, 8) следующие три подинтегральных выражения — для интегрирования вдоль кривой нагрева:

$$\frac{I_h}{t} \cdot \frac{dy_h}{y_h^{10} z} \quad (III, 9)$$

для интегрирования вдоль логарифмической части кривой охлаждения:

$$\frac{I_{ox}}{t} \cdot \frac{dy_{ox}}{y_{ox}^{10} z} \quad (III, 10)$$

и, наконец, для интегрирования вдоль гиперболы:

$$\frac{b}{a^2 t} \cdot \frac{y_g dy_g}{y_g - a} \sqrt{\frac{y_g}{a^2} - 1} \quad (III, 11)$$

Таблица 12

№ n/m	Значения для C											
	z = 14			z = 18			z = 22			z = 26		
	180°	160°	130°	180°	160°	130°	180°	160°	130°	180°	160°	130°
1.	0,770	0,783	0,799	0,859	0,872	0,891	0,941	0,956	0,974	1,016	1,028	1,045
2.	0,570	0,581	0,596	0,647	0,660	0,675	0,720	0,733	0,748	0,786	0,799	0,816
3.	0,468	0,478	0,493	0,538	0,551	0,565	0,604	0,617	0,631	0,667	0,678	0,693
4.	0,405	0,414	0,428	0,470	0,481	0,495	0,539	0,543	0,557	0,590	0,601	0,615
5.	0,361	0,370	0,383	0,423	0,433	0,446	0,480	0,491	0,504	0,535	0,546	0,559
6.	0,329	0,337	0,352	0,386	0,397	0,411	0,440	0,451	0,466	0,490	0,502	0,517
7.	0,303	0,313	0,327	0,357	0,370	0,384	0,408	0,420	0,436	0,456	0,470	0,483
8.	0,282	0,293	0,307	0,334	0,347	0,362	0,382	0,396	0,411	0,427	0,441	0,457
9.	0,265	0,276	0,291	0,314	0,328	0,343	0,361	0,374	0,390	0,404	0,418	0,434
10.	0,251	0,262	0,277	0,299	0,312	0,328	0,343	0,355	0,372	0,383	0,396	0,414
11.	0,239	0,250	0,264	0,284	0,297	0,313	0,327	0,341	0,357	0,367	0,381	0,398
12.	0,228	0,239	0,254	0,272	0,285	0,301	0,313	0,327	0,343	0,352	0,366	0,383
13.	0,218	0,230	0,244	0,262	0,275	0,291	0,302	0,316	0,332	0,339	0,353	0,370
14.	0,210	0,222	0,236	0,252	0,266	0,282	0,291	0,305	0,321	0,327	0,341	0,359
15.	0,203	0,213	0,228	0,244	0,256	0,273	0,281	0,294	0,312	0,317	0,330	0,348
16.	0,196	0,208	0,222	0,236	0,250	0,265	0,273	0,287	0,304	0,306	0,321	0,339
18.	0,184	0,196	0,210	0,222	0,236	0,251	0,257	0,271	0,289	0,290	0,304	0,322
20.	0,175	0,186	0,200	0,211	0,223	0,240	0,244	0,257	0,275	0,276	0,289	0,308
22.	0,166	0,177	0,191	0,201	0,214	0,230	0,233	0,248	0,264	0,263	0,279	0,296
24.	0,158	0,170	0,183	0,192	0,206	0,221	0,223	0,238	0,254	0,262	0,268	0,285
26.	0,152	0,163	0,177	0,185	0,199	0,214	0,215	0,229	0,246	0,243	0,258	0,275
28.	0,146	0,157	0,171	0,178	0,191	0,207	0,207	0,221	0,238	0,234	0,248	0,267
30.	0,141	0,152	0,165	0,172	0,185	0,200	0,200	0,214	0,231	0,227	0,241	0,259
32.	0,136	0,147	0,160	0,167	0,180	0,195	0,195	0,208	0,224	0,220	0,235	0,252
34.	0,132	0,142	0,156	0,162	0,175	0,189	0,188	0,203	0,219	0,214	0,229	0,245
36.	0,128	0,138	0,152	0,157	0,170	0,185	0,183	0,198	0,213	0,209	0,223	0,240

Выбрав далее пределы интегрирования для каждого из этих выражений и проведя далее интегрирование, получим, после сложения найденных при решении интегралов функций, полную величину стерилизующего эффекта A:

$$A = \frac{I_h}{t} C, \quad (III, 12)$$

где C — исключительно сложное выражение, являющееся функцией от g , m и z .

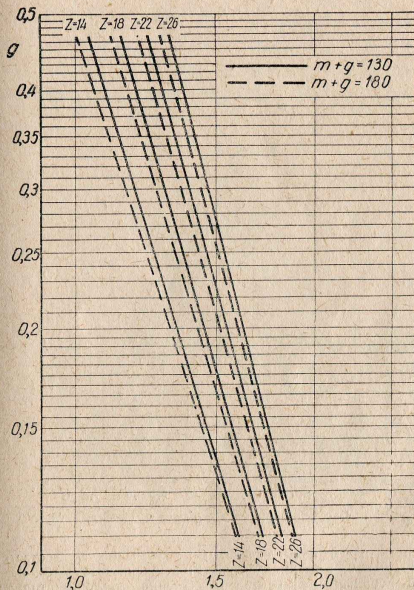


Рис. 29. Кривые C : g ($g = 0,1 - 0,5$).

Вычисление по формуле (III, 12) возможно только при наличии соответствующих таблиц или кривых. Такие таблицы и кривые были составлены Ч. Боллом. Они называются таблицами и кривыми C : g . В этих таблицах и кривых каждому значению g , $m + g$ и z соответствует определенное значение C. В табл. 12 приведены зависимости C : g для четырех значений g в интервале 1—36° C.

На рис. 29, 30 и 31 показаны кривые C : g . Графическую зависимость C : g на логарифмической сетке нельзя представить одной прямой, ибо при этом

получается ломаная линия с изломами в двух местах. Поэтому приходится давать три отдельные прямые — звенья этой ломаной линии. Как видно из рисунков, по оси абсцисс откладывается C , по оси ординат — g : на рис. 29 — от 0,1 до 0,5; на рис. 30 — от 0,5 до 5; на рис. 31 — от 5 до 35. Каждая кривая диаграммы $C : g$ определяется данными значениями $m + g$ и z .

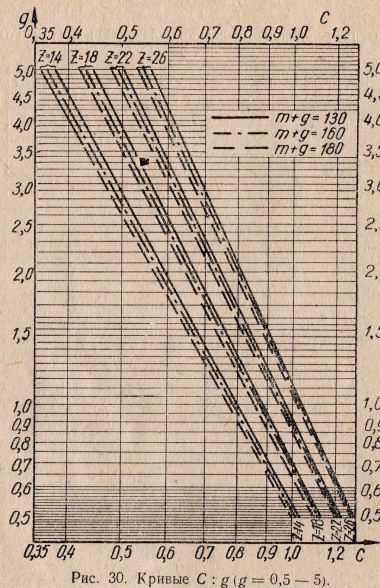


Рис. 30. Кривые $C : g$ ($g = 0,5 - 5$).

Пример. Найдем по диаграмме $C : g$ значение C , соответствующее $m + g = 180^\circ$, $g = 10$, $z = 18^\circ$. На рис. 31 в рубрике « $z = 18$ » на крайней слева (в этой рубрике) прямой при пересечении со горизонтали « $g = 10$ » видно, что значение C (если опустить перпендикуляр из точки пересечения на горизонталь C) находится в интервале 0,25—0,3, ближе к 0,3 — приблизительно 0,299.

г. Применение формулы

Для условия стерильности, когда $A = 1$, выражение (III, 12) имеет вид:

$$\frac{f_h}{t} C = 1,$$

¹ Шкала Феррейгта, принята в расчетах Ч. Болла.

или же

$$\frac{t}{h} = C.$$

(III, 13)

Теперь для того, чтобы с помощью же (III, 13) определить продолжительность стерилизации при заданном режиме, необходимо довольно длинные пояснения, хотя ход решения не является особенно сложным.

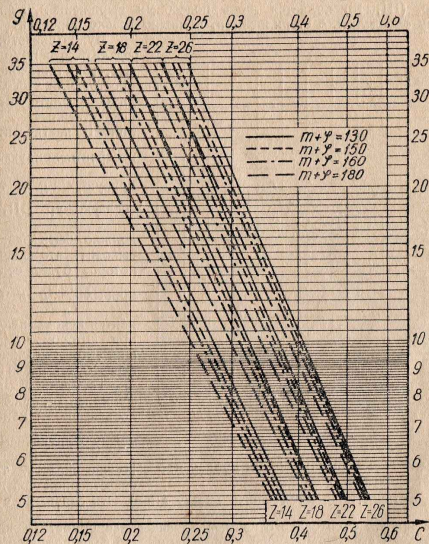


Рис. 31. Кривые $C : g$ ($g = 5 - 35$).

Дело в том, что в ур. (III, 13) t означает смертельное время, соответствующее наивысшей температурной точке на кривой прогресса, f_h — величина, характеризующая наклон кривой прогресса, C , как отмечалось, постоянная, являющаяся функцией от g , m и z . Таким образом, продолжительность стерилизации в этом уравнении вообще не фигурирует. Однако в ур. (III, 13) имеется в скрытом виде одна величина, с помощью которой можно найти искомую продолжительность стерилизации. Этой величиной является g — разница между температурой автоклава и наивысшей температурной точкой на кривой нагрева. Нахождение g понимается как нахождение момента начала охлаждения, т. е. нахождение той точки на кривой нагрева, которая посредством общего метода определяется *назад*, ориентировочным «перемещением» вправо или влево кривой охлаждения на диаграмме смертности. Найти g , значит найти такой момент начала охлаждения, при котором площадь, ограниченная кри-

общее для обеих кривых. Такое сопоставление лучше всего сделать графическим путем.

Прежде всего составим таблицу, в которой сопоставим несколько произвольных значений g , $\frac{t}{f_h}$ и C . Возьмем, например, такие значения g : 5, 10, 15 и 20°. Соответствующие им значения $\frac{t}{f_h}$ по кривой на рис. 33 будут: 0,096—

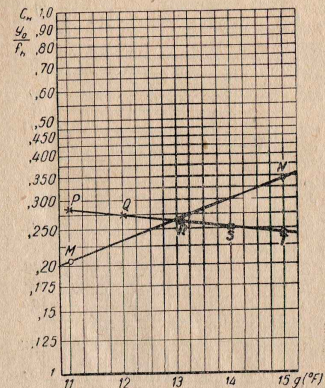


Рис. 34. К решению формулы Болла:

(кривые $\frac{t}{f_h} : g$ и $C : g$)

ни g они будут равны. Именно это значение g , общее для кривых $\frac{t}{f_h} : g$ и $C : g$ нам и нужно найти. При рассмотрении табл. 13 можно сразу заметить, что кривые должны пересечься где-то в интервале g между значениями 10 и 15.

Построим теперь график с более крупной сеткой g по горизонтали (в узком диапазоне g между 11 и 15°), отложив на вертикальной шкале значения $\frac{t}{f_h}$ и C (рис. 34).

Кривую $\frac{t}{f_h} : g$ можно построить по двум значениям g : для $g = 11$, $\frac{t}{f_h} = 0,207$ (точка M); для $g = 15$, $\frac{t}{f_h} = 0,345$ (точка N). Кривая MN на рис. 34 и есть кривая $\frac{t}{f_h} : g$.

Далее возьмем из табл. 12 значения C для значений g в 11, 12, 13, 14 и 15° (табл. 14).

Проведя через эти точки прямую PT , получим кривую $C : g$. Точка O пересечения кривых MN и PT и даст искомую величину $g = 12,9^\circ$.

—0,182—0,345 и 0,653. Для того, чтобы найти значения C , нужно знать z и $m + g$. Судя по кривой смертельного времени AB (рис. 33), $z = 18$. Если задаться температурой охлаждающей воды в 70°F , то $m + g = T_A - T_n = 250 - 70 = 180^\circ$. Тогда соответствующие значения C (по табл. 12 или по рис. 29—31) будут: 0,423; 0,299; 0,244; 0,211.

Таблица 13

g	$\frac{t}{f_h}$	C
5	0,096	0,423
10	0,182	0,299
15	0,345	0,244
20	0,653	0,211

Из табл. 13 видно, что с возрастанием значений g значения $\frac{t}{f_h}$ увеличиваются, а значения C — уменьшаются. Следовательно, при каком-то значении g они будут равны.

Обращаясь теперь к кривой нагрева (рис. 31), находим на ней значение $g = 12,9^\circ$, а по этому значению, опуская перпендикуляр на ось времени, — искомую продолжительность стерилизации, которая оказывается равной 57 мин.

Таким образом, хотя потребовалось весьма длинное объяснение в том, как нужно пользоваться формулой (111,13) для определения продолжительности стерилизации, однако самый метод расчета не является особенно сложным и может быть сведен к следующей схеме:

1. Вычерчивается кривая смертельного времени, причем на горизонтальной оси откладывается температура в порядке убывания слева направо, а по вертикальной — логарифмы значений смертельного времени t в порядке возрастания снизу вверх.

2. Строим на этом же графике вспомогательную кривую $\frac{t}{f_h} : g$. Для этого по горизонтальной оси откладываем значения g , в порядке возрастания слева направо, приняв за $g = 0$ точку, соответствующую заданной температуре автоклава (стерилизации).

Далее вычерчиваем на этом графике кривую, параллельную кривой смертельного времени, особенность которой заключается в том, что ординаты ее в f_h раз меньше соответствующих ординат кривой смертельного времени. Таким образом, если ординаты кривой смертельного времени обозначить через t , то ординаты вспомогательной кривой будут $\frac{t}{f_h}$. Значение f_h принимается по кривой нагрева.

Полученная вспомогательная кривая зависимости $\frac{t}{f_h} : g$ особым способом «приподнимается» на графике с таким расчетом, чтобы все точки значений g можно было спроектировать на эту кривую в поле данного графика. При этом логарифмическая сетка шкалы ординат этой кривой $\frac{t}{f_h}$ соответствующим образом пересчитывается.

3. Сопоставляем несколько произвольных значений g со значениями $\frac{t}{f_h}$ по вспомогательной кривой, с одной стороны, и со значениями C , взятыми из справочных таблиц или графиков, — с другой. Цель этого действия — найти диапазон двух значений g , в котором вспомогательная кривая $\frac{t}{f_h} : g$ пересекается с кривой $C : g$. Для такого сопоставления удобно соответствующие цифры расположить в таблице.

4. Найдя нужный диапазон, строим график на котором вычерчиваем в более крупном масштабе кривые $\frac{t}{f_h} : g$ и $C : g$. Для этого по горизонтальной оси откладываем (в найденном диапазоне) четыре-пять более мелких значений g , а по вертикальной — значения $\frac{t}{f_h}$ (фактически, $\frac{\log t}{f_h}$), являющиеся в то же время шкалой для значений C . Проекция точки пересечения этих двух кривых на ось абсцисс дает искомое значение g .

5. По найденному значению g определяем на кривой нагрева (строющейся в координатах $g - \tau_{\text{стер}}$) искомую продолжительность стерилизации, которая обеспечивает стерильность консерва.

Таблица 14

g	C	Обозначение соответствующих точек на рис. 33
11	0,2855	P
12	0,2737	Q
13	0,2628	R
14	0,2577	S
15	0,2438	T

4. Упрощение аналитического метода

а. Облегчение нахождения g

В сущности, в таком виде аналитический метод Болла является еще более громоздким, чем графический метод Бигелю. Громоздкость и трудоемкость аналитического метода заключается в необходимости комбинирования аналитических способов решения с графическими, причем составление графиков требует производства ряда искусственных построений, вычисления вспомогательных таблиц и т. д. Весь этот сложный вычислительный механизм связан только лишь с тем, что расчетная формула (III, 13) $\frac{t}{f_h} = C$ не дает возможности сразу определить величину g . Нужная величина g скрыта где-то в тайниках этой формулы, для нахождения которых приходится идти на всякие математические ухищрения. Фактически, так называемая «формула» $\frac{t}{f_h} = C$ не является аналитическим выражением в прямом смысле, которым пользуются для расчета. Формула $\frac{t}{f_h} = C$ является лишь символом, ключом к расчету, но не самим расчетом.

В чем же причина недостаточности этой формулы? Источником несовершенства выражения $\frac{t}{f_h} = C$ является левая его часть $\frac{t}{f_h}$, в числителе которой фигурирует t — т. е. *смертельная время, соответствующее максимальной температуре в центре банки*. Но ведь эту *максимальную температуру* в центре банки, по достижении которой нужно нагревание прекращать, мы не знаем. Найти эту температуру, значит решить задачу, значит найти нужную продолжительность стерилизации. Ведь задача в том и заключается, что мы ищем эту температуру, т. е. g — разницу между известной температурой автоклава и этой неизвестной (искомой) максимально необходимой температурой в тот момент процесса, когда нужно начинать охлаждение. Нельзя найти t , не зная g , и нельзя найти g , не зная t . Следовательно, обе части уравнения $\frac{t}{f_h} = C$ являются функциями от неизвестного нам, искомого g . Вот почему, не имея возможности вычислить отношение $\frac{t}{f_h}$ (ибо t нам неизвестно), мы не можем сразу, по соответствующим таблицам для такого отношения (т. е. табл. С: g), найти искомую величину g . Таблицы С: g существуют, но как найти в них то единственное значение, при котором g будет иметь такую же величину, как если бы его нашли из отношения $\frac{t}{f_h}$, т. е. то единственное значение C , которое равно $\frac{t}{f_h}$? Как отмечалось выше, это можно сделать только методом сопоставления значений $\frac{t}{f_h}$ и C и нахождения такой точки, которая является общей для обеих величин, а такая процедура довольно громоздка и трудоемка. Если же формулу $\frac{t}{f_h} = C$ можно было бы так видоизменить, чтобы левая ее часть не зависела от неизвестной величины g , т. е. чтобы ее можно было вычислить, тогда формула сразу приобрела бы «явный» характер. Тогда, вычислив левую часть уравнения, можно было бы сразу по соответствующим таблицам функций z , m и g найти искомое значение g .

Из сказанного следует, что формулу $\frac{t}{f_h} = C$ нужно преобразовать так,

чтобы заменить в ней t на какую-либо другую известную величину. Вспомним о том, каким образом величина t попала в формулу (III, 13). Она попала из уравнения кривой смертельного времени (II, 50):

$$\frac{x}{z} = \log \frac{y}{t}.$$

Как было отмечено выше, при выводе формулы (III, 13) Ч. Болл принял за ось y вертикаль, соответствующую максимальной температуре в центре банки. Тогда x выражает разницу между максимальной температурой в центре банки и температурой в любой данной точке кривой (т. е. температурой в любой момент стерилизации).

Но если за ось y принять вертикаль, соответствующую температуре автоклава, то уравнение кривой смертельного времени будет иметь такой вид:

$$\frac{x'}{z} = \log \frac{y}{u}. \quad (\text{III}, 14)$$

Здесь u выражает время в минутах, требуемое для уничтожения микроорганизмов при температуре автоклава; тогда x' выражает разницу в градусах между температурой автоклава и температурой в любой точке кривой, т. е. x' — это то, что мы обозначаем g .

Тогда, подставив в ур. (III, 14) g вместо x' и t вместо y , получим:

$$\frac{g}{z} = \log \frac{t}{u}. \quad (\text{III}, 15)$$

Отсюда

$$\begin{aligned} \frac{g}{z} &= \log t - \log u, \\ \log t &= \frac{g}{z} + \log u, \\ t &= 10^{\frac{g}{z} + \log u}; \end{aligned} \quad (\text{III}, 16)$$

Подставим теперь это значение t в формулу (III, 13):

$$\frac{10^{\frac{g}{z} + \log u}}{f_h} = C.$$

Отсюда

$$\begin{aligned} 10^{\frac{g}{z} + \log u} &= f_h C, \\ \log f_h C &= \frac{g}{z} + \log u, \\ \log f_h C - \log u &= \frac{g}{z}, \\ \log \frac{f_h C}{u} &= \frac{g}{z}, \\ \frac{f_h C}{u} &= 10^{\frac{g}{z}}. \end{aligned}$$

Накопец,

$$\frac{f_h}{u} = 10^{\frac{g}{z}}. \quad (\text{III}, 17)$$

Выражение (III, 17) представляет именно такую формулу, которой можно заменить формулу (III, 13), т. е. такую формулу, левая сторона которой поддается расчету, ибо как f_h , так и u — постоянные, известные для каждого

данного случая величины (f_h берется из кривой нагрева, u — из кривой смертельного времени для данной температуры стерилизации).

Выпислив левую часть уравнения (III, 17), т. е. $\frac{f_h}{u}$, ищут полученное число в соответствующих таблицах, а найдя его, тем самым находят и g . Нужно только для этой цели составить *другие таблицы*, в которых g будет

функцией не C , а $\frac{g}{C}$; если эту величину обозначить C' , то формула (III, 17) примет такой вид:

$$\frac{f_h}{u} = C'. \quad (\text{III, 18})$$

Пользуясь выражением

$$C' = \frac{g}{C} = \frac{10^z}{C}$$

и данными табл. 12 ($C: g$), можно составить таблицу зависимости $C': g$. Пересчет делается следующим образом. Допустим, что $g = 1^\circ$, $z = 14^\circ$, а $m + g = 180^\circ$. Тогда по табл. 12. $C = 0,770$. Исходя из этих данных, найдем для этого примера значение C' :

$$C' = \frac{g}{C} = \frac{1}{0,770} = 1,30$$

откуда $C' = 1,53$.

На основании такого расчета составлена табл. 15 и графики 35 — 36. Таблица 15

№ п/л	Значения C'											
	$z = 14$			$z = 18$			$z = 22$			$z = 26$		
	180°	160°	130°	180°	160°	130°	180°	160°	130°	180°	160°	130°
1	1,53	1,51	1,48	1,33	1,31	1,28	1,18	1,16	1,14	1,07	1,06	1,04
2	2,46	2,41	2,35	2,00	1,96	1,91	1,72	1,69	1,66	1,53	1,50	1,47
3	3,50	3,42	3,32	2,73	2,67	2,60	2,27	2,22	2,17	1,96	1,94	1,89
4	4,76	4,66	4,50	3,53	3,47	3,38	2,86	2,80	2,73	2,42	2,38	2,32
5	6,27	6,13	5,92	4,50	4,39	4,26	3,52	3,44	3,36	2,88	2,82	2,76
6	8,15	7,94	7,62	5,57	5,41	5,22	4,26	4,16	4,03	3,48	3,38	3,29
7	10,45	10,12	9,70	6,80	6,62	6,49	5,10	4,96	4,77	4,10	3,98	3,87
8	13,20	12,70	12,20	8,96	8,05	7,71	6,05	5,83	5,62	4,76	4,61	4,31
9	16,60	15,90	15,20	10,00	9,65	9,25	7,12	6,87	6,60	5,50	5,31	5,12
10	20,70	19,80	18,70	12,00	11,51	10,90	8,31	8,03	7,66	6,35	6,14	5,87
11	25,50	24,40	23,20	14,40	13,80	13,10	9,70	9,30	8,88	7,23	6,95	6,65
12	31,70	30,20	28,05	17,05	16,30	15,35	11,20	10,75	10,20	7,95	7,65	7,30
13	38,70	36,70	34,60	20,00	19,20	18,15	12,80	12,32	11,75	9,32	8,95	8,57
14	47,60	45,00	42,20	23,71	22,50	21,20	14,85	14,20	13,45	10,55	10,15	9,64
15	57,70	54,90	51,40	28,00	26,70	25,00	17,00	16,30	15,35	11,90	11,42	10,85
16	74,50	70,90	65,70	32,20	30,40	28,60	21,91	21,00	19,52	13,50	12,85	12,15
18	105,6	99,5	93,0	45,0	42,4	39,0	25,5	24,2	22,7	17,0	16,2	15,3
20	154,0	145,0	134,5	67,5	63,6	59,2	33,3	31,6	29,6	21,3	20,4	19,1
22	224,0	210,0	194,0	83,5	78,5	73,0	43,0	40,3	37,9	26,7	25,2	23,7
24	328,0	305,0	284,0	115,0	104,5	97,6	55,6	52,0	48,8	33,0	31,2	29,4
26	470,0	430,0	405,0	151,0	140,0	130,5	70,6	66,4	61,6	41,2	38,8	36,4
28	685,0	636,0	585,0	200,0	188,0	173,5	90,4	84,7	78,8	50,7	48,0	44,6
30	980,0	906,0	835,0	269,0	250,0	230,0	115,0	108,0	99,5	62,8	58,2	55,1

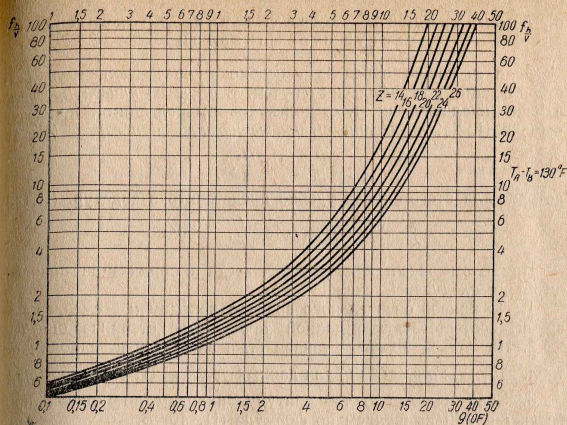


Рис. 35. К аналитическому методу Болла: кривые $\frac{f_h}{u} : g$ ($T_A - T_B = 180^\circ \text{ Ф}$).

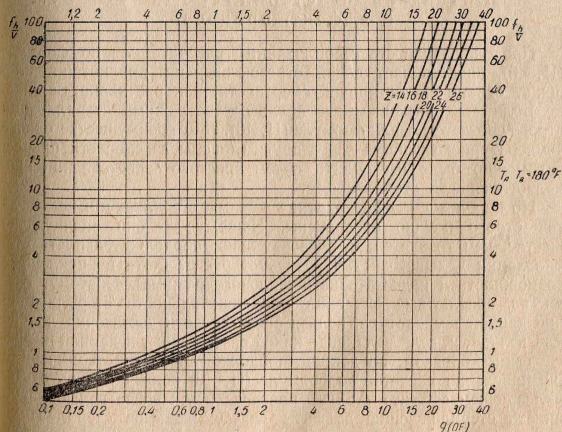


Рис. 36. К аналитическому методу Болла: кривые $\frac{f_h}{u} : g$ ($T_A - T_B = 130^\circ \text{ Ф}$).

6. Аналитическое определение продолжительности стерилизации

Зная g , можно определить необходимую продолжительность стерилизации не графическим путем, т. е. не по кривой прогресса, а чисто аналитически, т. е. пользуясь вычислениями, приведенными в II, 2а, по частному уравнению кривой прогресса (II, 41)

$$\frac{B}{f_h} = \log \frac{iJ}{g},$$

которое для этого случая удобно представить в виде ур. (II, 46)

$$B = f_h \log \frac{iJ}{g}.$$

При этом расчет продолжительности стерилизации производится по следующей схеме:

1. По кривой смертельного времени находим u — смертельное время, соответствующее данной температуре стерилизации T_h .

2. По кривой прогресса узнаем f_h , а зная f_h и u , находим по табл. 15 ($\frac{f_h}{u}$; g или C^1 ; g) для данных условий (т. е. z и $m + g$).

3. Зная начальную температуру, находим по кривой прогресса i и J и вычисляем по формуле (II, 46) B .

в. «Приведенный» стерилизующий эффект (F-эффект) процесса

Продолжительность стерилизации, рассчитанная по формуле (II, 46), представляет собой отрезок времени, при котором площадь, ограниченная кривой смертности, как раз равна единице.

Если бы применяемые в производстве режимы стерилизации строго соответствовали формуле (II, 46), то о преимуществе одного температурного режима перед другим (в смысле скорости процесса) можно было бы судить путем простого сопоставления продолжительности стерилизации.

Но используемые на практике режимы стерилизации не всегда так строго научно обоснованы. Чаще всего они значительно жестче, чем требуется, и, следовательно, продолжительность стерилизации дольше, чем этого требует расчет (хотя не исключена возможность и недостаточного теплового режима). Поэтому, глядя на абсолютные значения продолжительности стерилизации при данной температуре, нельзя сразу сказать достаточно ли она или велика, и, если велика, то какой резерв скрыт в данной цифре.

Таким образом, по данной продолжительности стерилизации (не производя расчетов по формуле (II, 46) нельзя судить о стерилизующем эффекте данного процесса и уж вовсе нельзя сравнивать стерилизующие эффекты разных режимов стерилизации между собой (т. е. режимов стерилизации, проводимых при разных температурах, обладающих разным стерилизующим дейст-

вием), как нельзя судить точно о сравнительной величине простых дробей, не приведя их к одному знаменателю.

Исходя из таких соображений, Ч. Болл предложил приводить стерилизующие эффекты разных режимов стерилизации «к одному знаменателю», понимая под этим знаменателем какую-то определенную, условленную температуру. В основе этого предложения лежит предположение, в соответствии с которой два каких-то разных режима являются равноценными в отношении данного вида микроорганизмов, если оба они в равной мере эффективно приводят к гибели этих микробов. Так возникло понятие о «приведенном» стерилизующем эффекте данного режима, под которым условились понимать продолжительность (в минутах) некоторого воображаемого равноценного режима тепловой обработки, проводимого при 121,1°C при условии, что содержимое банки немедленно, с самого начала процесса достигает температуры автоклава, выдерживается при этой температуре в течение данного промежутка времени, в конце которого немедленно охлаждается до сублетальной температуры.

Этот «приведенный» стерилизующий эффект иногда называют F-эффектом данного режима стерилизации.

Вычисление F-эффекта разных режимов стерилизации дает возможность оценить каждый из режимов в отдельности и сравнить их между собой. При этом основным критерием для некислотных консервов является эффективность данного процесса в отношении спор *Cl. botulinum*. По данным Эсти и Мейера, смертельное время для данного микроорганизма в нейтральной фосфатной среде при 121,1°C составляет 2,45 мин. Отсюда делается вывод, что режим стерилизации всех некислотных консервов должен иметь F-эффект не меньше чем 2,45. Ольсон и Стивенс считают, что забота о здоровье потребителя требует, чтобы F-эффект режимов стерилизации таких консервов, как кукуруза, зеленый горошек, шпинат, фасоль, а также большинства мясных и рыбных консервов был не меньше 4,5 мин. Наличие в консерве некоторых более устойчивых микробов, вызывающих порчу, может потребовать F-эффекта в 6 мин. или более.

Итак, цель математического расчета продолжительности стерилизации заключается иногда не только в определении необходимой длительности процесса, но и в вычислении F-эффекта, т. е. стерилизующего эффекта, приведенного к некоторой условной тепловой обработке при 121,1°C.

Совершенно очевидно, что для «перевода» эффекта одной температуры в другую нужно располагать соответствующими таблицами, графиками или необходимой аналитической зависимостью. Такая аналитическая зависимость, как мы уже отмечали в разделе II, 1а, получается из уравнения кривой смертельного времени (II, 5):

$$\frac{x}{z} = \log \frac{y}{t}.$$

Если принять для данного случая, что x выражает разницу в градусах между условленной, «расчетной» температурой $121,1^{\circ}\text{C}$ и любой данной температурой стерилизации T_{Λ} , то y будет представлять значение смертельного времени в минутах для данного режима стерилизации u , а t — значение смертельного времени для температуры $121,1^{\circ}\text{C}$ (F_0).

Тогда необходимая аналитическая зависимость будет иметь такой вид:

$$\frac{121,1 - T_{\Lambda}}{z} = \log \frac{u}{F_0}, \quad (II, 19)$$

откуда

$$\frac{u}{F_0} = 10^{\frac{121,1 - T_{\Lambda}}{z}}. \quad (II, 20)$$

Выражением (III, 20) можно пользоваться для того, чтобы, зная u , находить F_0 или, зная F_0 , находить u .

$$u = F_0 \cdot 10^{\frac{121,1 - T_{\Lambda}}{z}}, \quad (III, 21)$$

$$F_0 = \frac{u}{10^{\frac{121,1 - T_{\Lambda}}{z}}}. \quad (III, 22)$$

Каким же образом можно практически использовать найденные аналитические зависимости для определения F -эффекта данного режима стерилизации? Чтобы ответить на этот вопрос, нужно вспомнить о том, что величина F_0 фигурирует в скрытом виде в формуле для расчета продолжительности стерилизации (II, 46):

$$B = f_h \log \frac{D}{g}.$$

Напомним, что величина B — искомая продолжительность стерилизации при данной температуре автоклава T_{Λ} — рассчитывается на основании предварительного определения величины g . Величина же g находится по таблицам $\frac{f_h}{u} \cdot g$, где u — смертельное время, соответствующее данной температуре автоклава T_{Λ} (температуре стерилизации). Таким образом, в выражении (II, 46) содержится в скрытом виде величина u , а значит (судя по формуле III, 22) и величина F_0 . Следовательно, выражением (II, 46) можно воспользоваться для расчета величины u и F_0 , если продолжительность стерилизации B и другие исходные данные нам известны. Для этого нужно, зная B , f_h , i и J , найти g , а по найденному значению g и таблицам $\frac{f_h}{u} \cdot g$ определить u . Наконец, по формуле (III, 22) можно вычислить F_0 .

Но что же численное значение F_0 ? Если B представляет собой продолжительность стерилизации, являющуюся мини-

мально необходимой, т. е. такой, при которой площадь, ограниченная кривой смертности, равна единице, то «и» при этом означает смертельное время, соответствующее температуре автоклава (ибо, исходя из этой предпосылки, и выведена формула II, 46), а F_0 — смертельное время, соответствующее температуре $121,1^{\circ}\text{C}$.

Значит, если речь идет о некислотных консервах (где расчет ведется на *Cl. botulinum*), то такой подсчет должен дать величину, равную 2,45 мин.¹

Если же B представляет собой данную продолжительность стерилизации, являющуюся меньшей или большей, чем минимально необходимая, то найденная «обратным» расчетом по формуле (II, 46) величина «и» будет меньше или больше смертельного времени, соответствующего температуре автоклава, а величина F_0 тоже, соответственно, будет меньше или больше смертельного времени соответствующего $121,1^{\circ}\text{C}$. А значит, в этом случае величина F_0 и будет тем, что мы условились называть приведенным стерилизующим, или F -эффектом, данного процесса. Только в частном случае $F_0 = F$: когда площадь, ограниченная кривой смертности, равна единице. Во всех других случаях F_0 либо больше, чем F , либо меньше. Собственно говоря, можно сказать, что приведенный стерилизующий эффект любого режима стерилизации, являющегося как раз минимально необходимым для уничтожения спор *Cl. botulinum* в некислотных консервах, составляет 2,45 мин., т. е. как раз равен смертельному времени при $121,1^{\circ}\text{C}$.

г. Аналитический расчет приведенного стерилизующего эффекта данного режима стерилизации и определение продолжительности стерилизации при данном режиме по заданному F -эффекту

Все сказанное в предыдущем разделе легко уяснить на примере.

1. Определить приведенный стерилизующий эффект режима стерилизации при 115°C , общая продолжительность которого составляет 100 мин. при условии: $z = 10^{\circ}\text{C}$, температура охлаждающей воды 15°C , начальная температура консерва 60°C , $J = 1,5$ и $f_h = 68$.

1. Подставим известные величины в ур. (II, 46) и найдем g .

$$B = f_h \log \frac{D}{g}; \quad 100 = 68 \log \frac{115 - 60}{g},$$

откуда $g = 2,8^{\circ}\text{C}$.

Поскольку графики 35 и 36 составлены Боллом применительно к шкале Фаренгейта, необходимо имеющиеся у нас данные

¹ Напомним, что полная характеристика кривой смертельного времени для *Cl. botulinum* представлена двумя показателями: $z = 10^{\circ}\text{C}$ и $F_0 = 2,45$ мин.

стоградусной шкалы перевести в данные шкалы Фаренгейта¹. При таком переводе в настоящем примере получается: $g = 5^\circ\text{F}$, температура охлаждающей воды на 180°F ниже температуры автоклава, $z = 18^\circ\text{F}$.

2. Далее, по графику 35 зависимости $\frac{f_h}{u} \cdot g$ находим значение $\frac{f_h}{u}$ для указанных в п. 1 условий. Искомое значение $\frac{f_h}{u}$ оказывается равным $\sim 4,5$.

3. Зная величины $\frac{f_h}{u}$ и f_h , находим u :

$$u = \frac{68}{4,5} = 15 \text{ мин.}$$

4. Наконец, определяем F -эффект по формуле (III, 22):

$$F_0 = \frac{u}{10^{\frac{121,1 - T_A}{z}}} = \frac{15}{10^{\frac{121,1 - 115}{10}}} = \frac{15}{4,07} = 3,7.$$

F -эффект равен 3,7 мин.

Таким образом, можно считать, что данный режим стерилизации обеспечивает уничтожение спор *Cl. botulinum*, ибо F -эффект этого режима больше смертельного времени для данного микроорганизма (2,45 мин.)

II. Рассчитать необходимую продолжительность стерилизации для температурного режима и прочих условий из предыдущего примера, если желаемый F -эффект должен составлять 6 мин.

1. Находим u по формуле (III, 21):

$$u = F \cdot 10^{\frac{121,1 - T_A}{z}} = 6 \cdot 10^{\frac{121,1 - 115}{10}} = 6 \cdot 4,07 = 24,4 \text{ мин.}$$

2. Определяем $\frac{f_h}{u}$:

$$\frac{f_h}{u} = \frac{68}{24,4} = 2,8.$$

3. Далее, по графику 35 зависимости $\frac{f_h}{u} \cdot g$ находим значение g для данных условий; g оказывается равным $3,4^\circ\text{F}$, или $1,9^\circ\text{C}$.

4. Наконец $B = f_h \log \frac{t_f}{g} = 68 \log \frac{1,5 \cdot 55}{1,9} = 112 \text{ мин.}$

¹ При этом, если переводу подлежит *разность* температур, показания температурной шкалы нужно умножить на $\frac{9}{5}$, а если требуется перевести *абсолютные* значения температур, то показания стоградусной шкалы умножаются на $\frac{9}{5}$ и к полученному произведению прибавляется 32.

д. Пересчет исходных данных при изменении условий

Аналитический метод расчета продолжительности стерилизации выгодно отличается от графического тем, что для выполнения его нет необходимости в построении кривой прогресса и охлаждения; нужно только знать характеристику этой кривой, т. е. f_h и J . Это очень важно, если, например, необходимо произвести расчеты для разных размеров банок, а характеристика кривой прогресса имеется только для одной из них. При пользовании графическим методом нужно обязательно экспериментально определять кривую прогресса для каждого нового случая. При пользовании аналитическим методом нужно знать величину f_h только для одного размера тары. Переход к другим размерам тары делается, как отмечалось в разделе II,26, по формуле (II,47)

$$f_{h2} = f_{h1} \frac{d_1^2 k_2}{d_2^2 k_1}.$$

Довольно близкие к этим результатам получаются данные, вычисляемые с помощью формулы В. Жада:на:

$$f_{h2} = f_{h1} \frac{8,3h_2 d_2 + d_2^2}{8,3h_1 d_1 + d_1^2}. \quad (\text{III}, 23)$$

Что касается величины J , то она практически не зависит от размеров банки.

Существуют также формулы для полного пересчета одной кривой прогресса в другую, т. е. пересчета любой точки данной кривой в другую. Если, например, экспериментальная кривая прогресса определена для какой-то одной температуры стерилизации, а нужно найти соответствующие точки на кривой прогресса для другой температуры стерилизации или для другой начальной температуры, то пользуются формулами Шульца и Олсона.

Для того случая, когда начальная температура банки остается той же, а меняется температура стерилизации, формула имеет вид:

$$T_{Ц'} = T_A' - \frac{T_A' - T_H}{T_A - T_H} (T_A - T_{Ц}), \quad (\text{III}, 24)$$

где

T_A — первоначальная температура стерилизации;

T_A' — новая температура стерилизации;

T_H — начальная температура консерва;

$T_{Ц}$ — температура в центре банки в любой момент стерилизации при температуре автоклава;

$T_{Ц'}$ — температура в центре банки, соответствующая точке $T_{Ц}$ при новой температуре стерилизации.

Если вычертить зависимость между $T_{Ц'}$ и $T_{Ц}$ в прямоугольной системе координат, то получится прямая линия, т. к. $T_{Ц'}$ является линейной функцией от $T_{Ц}$. Отсюда для пересчета одной кривой в другую достаточно воспользоваться формулой для пересчета только двух каких-то точек и соединить полученные точки прямой линией. Если, например, $T_{Ц} = T_A$, то $T_{Ц'} = T_A'$. Следовательно, одной из двух точек указанной прямой может быть точка, представленная двумя температурами стерилизации. В качестве второй температуры для невискозных консервов рекомендуется $T_{Ц}$ не меньше 95°C , ибо для более низких температур значение смертельной скорости слишком ничтожно и им можно пренебречь при построении кривой смертности.

В том случае, если температура стерилизации не изменяется, а меняется только начальная температура, формула для пересчета имеет такой вид:

$$T_{II'} = T_A - \frac{T_A - T_{H'}}{T_A - T_H} (T_A - T_{II}) \quad (III, 25)$$

Это уравнение также представляет прямую линию, и, опять-таки, достаточно пересчитать по формуле только две точки, чтобы вычертить ее. Если $T_{II} = T_A$, то $T_{II'} = T_A$. Поэтому в качестве одной из точек можно выбрать точку, представляющую две (равные) температуры стерилизации. Для получения другой точки рекомендуется, как и в предыдущем случае, пользоваться температурой не меньше 95°C .

Наконец, в том случае, если изменяется и температура стерилизации и начальная температура банки, то можно воспользоваться обеими формулами (III, 24) и (III, 25), применяя их последовательно в любом порядке.

е. Расчет продолжительности стерилизации с помощью номограмм

Ольсон и Стивенс предложили номограммы, пользование которыми значительно упрощает вычислительную процедуру аналитического метода. Основные проблемы, которые можно решить с помощью этих номограмм, следующие: 1. Сколько времени следует стерилизовать банку, чтобы уничтожить данный тип микроорганизма?

2. Каков приведенный стерилизующий эффект данного режима стерилизации?

Способ пользования номограммами следующий:

Проблема 1. *Вычисление продолжительности стерилизации.*

Пусть температура стерилизации будет T_A , начальная температура банки T_H , смертельное время для данного микроорганизма при 250°F ($121,1^\circ\text{C}$) F_0 . Допустим далее, что температура охлаждающей воды 70°F ($21,1^\circ\text{C}$) и что значения J и f_h нам известны.

Действие 1. Находим на номограмме (рис. 37) T_A (шкала 1), F_0 (шкала 4), соединяем T_A и F_0 и получаем точку пересечения на линии 3.

Действие 2. Соединяем точку на линии 3 со значением f_h на шкале 2, и, продолжив эту прямую в обратном направлении, получаем точку на шкале 4. Следуя далее за серией линий, соединяющих шкалы 4 и 5, находим точку на шкале 5, соответствующую точке на шкале 4.

Действие 3. Вычитаем начальную температуру из температуры стерилизации. Находим $T_A - T_H$ на шкале 7 и соединяем эту точку со значением J на шкале 5, получая точку на линии 6.

Действие 4. Соединяем точку на линии 6 с точкой на шкале 5 (см. действие 2), получая точку на шкале 7.

Действие 5. Соединяем точку на шкале 7 со значением f_h на шкале 8 и находим, продолжая эту прямую, продолжительность процесса стерилизации B на шкале 9.

Пример (рис. 38). Какая продолжительность стерилизации B необходима при 250°F ($121,1^\circ\text{C}$) для уничтожения микроорганизма, смертельное время для которого при 250°F (F_0) составляет 4 минуты, а наклон кривой смертельного времени \bar{z} равен 18°F ?

Допустим, что начальная температура продукта равна 180°F ($82,2^\circ\text{C}$), что f_h составляет 37,4, а $J = 1,8$.

¹ В приведенных ниже примерах сохранена шкала Фаренгейта, фигурирующая в номограммах Ольсона и Стивенса.

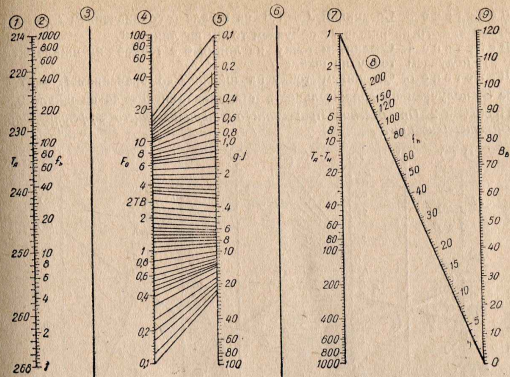


Рис. 37. Номограмма для аналитического метода (общая форма).

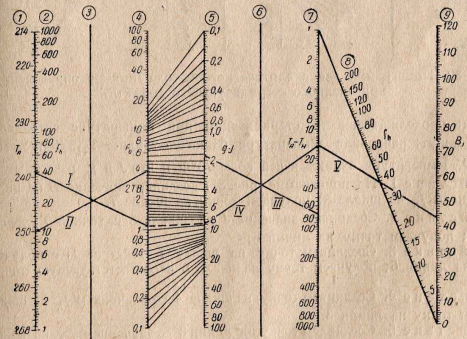


Рис. 38. Номограмма для аналитического метода (пример вычисления продолжительности стерилизации).

Действие 1. Соединяем $T_A = 250$ на шкале 1 со значением $F_0 = 4$ на шкале 4; получаем точку на линии 3.

Действие 2. Соединяем полученную точку на линии 3 со значением $f_h = 37,4$ на шкале 2; получаем точку на шкале 4 и соответствующую точку на шкале 5.

Действие 3. Соединяем $J = 1,8$ на шкале 5 со значением $T_A - T_H = 250 - 180 = 70$ на шкале 7; получаем точку на линии 6.

Действие 4. Соединяем точку на линии 6 с точкой на шкале 5 (действие 2); получаем точку на шкале 7.

Действие 5. Соединяем точку на шкале 7 со значением $f_h = 37,4$ на шкале 8; получаем продолжительность стерилизации $B = 44$ на шкале 9.

Проблема 2. Определение приведенного стерилизующего эффекта данного режима стерилизации.

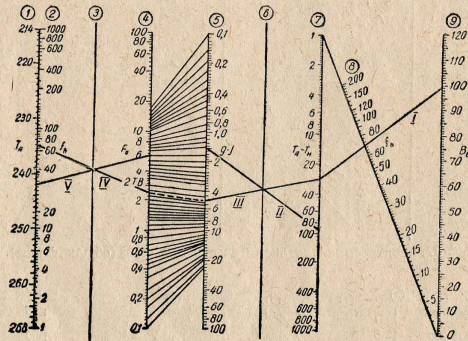


Рис. 39. Номограмма для аналитического метода (пример определения приведенного стерилизующего эффекта).

Пусть продолжительность стерилизации при температуре автоклава T_A будет B минут; начальная температура банки составляет T_H . Допустим, что $z = 18^\circ\text{Ф}$, температура охлаждающей воды 70°Ф и что J и f_h известны.

Действие 1. На номограмме (рис. 37) соединим значение B на шкале 9 со значением f_h на шкале 8; получаем точку на шкале 7.

Действие 2. Соединяем значение J на шкале 5 с точкой $T_A - T_H$ на шкале 6; получаем точку на линии 6.

Действие 3. Соединяем точку на шкале 7 (действие 1) с полученной точкой на линии 6; получаем точку на шкале 5 и соответствующую точку на шкале 4.

Действие 4. Соединяем точку на шкале 4 со значением f_h на шкале 2; получаем точку на линии 3.

Действие 5. Соединяем точку на линии 3 со значением T_A на шкале 1; получаем значение F_0 на шкале 4.

Пример. (рис. 39). Найти приведенный стерилизующий эффект F 100-минутного режима стерилизации, проводимого при температуре 242°Ф ($116,7^\circ\text{С}$), если $T_H = 145^\circ\text{Ф}$ ($62,8^\circ\text{С}$), $J = 1,5$ и $f_h = 68$.

Действие 1. Соединяем $B = 100$ на шкале 9 со значением $f_h = 68$ на шкале 8; получаем точку на шкале 7.

Действие 2. Соединяем $J = 1,5$ на шкале 5 со значением $T_A - T_H = 242 - 145 = 97$; получаем точку на линии 6.

Действие 3. Соединяем точку на шкале 7 (действие 1) с точкой на линии 6 (действие 2); получаем точку на шкале 5 и соответствующую точку на шкале 4.

Действие 4. Соединяем точку на шкале 4 со значением $f_h = 68$ на шкале 2; получаем точку на линии 3.

Действие 5. Соединяем точку на линии 3 со значением $T_A = 242$ на шкале 1; получаем $F_0 = 5,6$ на шкале 4.

Таким образом, данный процесс стерилизации эквивалентен выдержке содержимого банки в $5,6$ мин. при 250°Ф ($121,1^\circ\text{С}$) при условии мгновенного нагрева банки до этой температуры и мгновенного охлаждения по прошествии $5,6$ мин.

Примечание. Номограммы составлены для условия $z = 18$ и $T_A - T_B = 170^\circ\text{Ф}$ (95°С), где T_B — температура охлаждающей воды. Для других значений разности $T_A - T_B$ Ольсон и Стивенс составили таблицу поправок (табл. 16).

Таблица 16

$T_A - T_B$	5	10	20	50	100	200
f_h	0,14	0,28	0,56	1,41	2,82	5,64
200°Ф (112°С)	Добавить 0,09	Добавить 0,19	Добавить 0,38	0,94	1,88	3,76
190°Ф (107°С)	Добавить 0,05	Добавить 0,09	Добавить 0,19	0,47	0,94	1,88
180°Ф (100°С)	—	—	—	0	0	0
170°Ф (95°С)	Вычсть 0,02	Вычсть 0,03	0,07	0,18	0,36	0,71
160°Ф (90°С)	Вычсть 0,03	0,07	0,14	0,35	0,71	1,42
150°Ф (84°С)	Вычсть 0,05	0,10	0,21	0,54	1,07	2,14
140°Ф (78°С)						

ж. Приближенный метод вычисления F -эффекта

В разделе III.4.в были приведены формулы для пересчета смертельного времени при любой данной температуре (u) на смертельное время при некоторой усложненной температуре $121,1^\circ\text{С}$ (F_0). Основной из этих формул является выражение (III.20):

$$\frac{u}{F_0} = 10^{\frac{121,1 - T_A}{z}}$$

Если вместо отношений смертельных времен ввести обратные величины — отношение смертельных скоростей (L) — то получится выражение

$$\frac{L_u}{L_F} = \frac{1}{10^{\frac{121,1 - T_A}{z}}}, \quad (\text{III.26})$$

где

L_u — смертельная скорость при любой температуре;
 L_F — смертельная скорость при $121,1^\circ\text{С}$.

Таким образом, выражение (III,26) показывает, во сколько раз стерилизующее действие данной температуры больше или меньше стерилизующего действия температуры 121,1°C (т. е. показывает относительное стерилизующее действие).

Примечание. Из основных понятий и предпосылок, приведенных в разделах III,1 и III,4в следует, что стерилизующее значение данного отрезка времени (т. е. произведение из смертельной скорости на время) есть величина постоянная:

$$D = L\tau = \text{const.}$$

В данном случае

$$L_u \tau = L_F F,$$

отсюда

$$F = \frac{L_u}{L_F} \cdot \tau,$$

$$F = \frac{1}{10 \frac{121,1 - T_A}{z}} \cdot \tau,$$

(это ясно также и при рассмотрении формулы (III,22). Следовательно, выражение $\frac{1}{10 \frac{121,1 - T_A}{z}}$ является как бы «переводным» коэффициентом, умножая на

который любой отрезок времени стерилизации τ при данной температуре T_A , мы «переводим» его в эквивалентный отрезок времени стерилизации F , проводимой при 121,1°C. Иными словами, произведение

$$\frac{L_u}{L_F} \cdot \tau_{T_A} = F \quad (\text{III,27})$$

представляет собой приведенный стерилизующий эффект данного отрезка времени.

Пример 1. Определить относительное стерилизующее действие температуры 115,5°C, если $z = 10^\circ\text{C}$.

$$\frac{L_u}{L_F} = \frac{1}{10 \frac{121,1 - 115,5}{10}} = 0,28.$$

Пример 2. Определить относительное стерилизующее действие температуры 126,7°C, если $z = 10^\circ\text{C}$.

$$\frac{L_u}{L_F} = \frac{1}{10 \frac{121,1 - 126,7}{10}} = 3,55.$$

Из приведенных примеров видно, что стерилизующее действие температуры 115,5°C в несколько раз меньше стерилизующего действия температуры 121,1°C, а стерилизующее действие температуры 126,7°C — в несколько раз больше.

Пользуясь понятием об относительном стерилизующем действии данной температуры, выраженном коэффициентом $\frac{L_u}{L_F}$, можно считать F -эффект данного процесса стерилизации весьма простым, хотя и несколько приближенным методом.

Если располагать кривой прогрева для данного процесса, то можно для каждой точки этого процесса рассчитать коэффициент $\frac{L_u}{L_F}$. Произведя такой расчет, можно построить своего рода кривую смертности, откладывая по вертикальной оси $\frac{L_u}{L_F}$, а по горизонтальной τ_{T_A} время стерилизации (рис. 40). Тогда площадь, ограниченная этой кривой, т. е. $\int_a^b \frac{L_u}{L_F} d\tau$, и будет

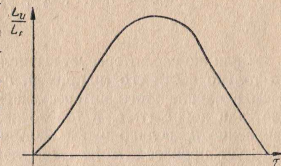


Рис. 40. Кривая F -эффекта.

представлять собой то, что выше названо приведенным стерилизующим, или F -эффектом данного процесса, выраженным в минутах эквивалентного, 121,1-градусного режима стерилизации.

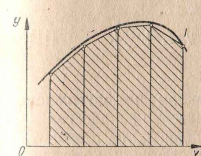


Рис. 41. Приближенный метод трапециoidalного интегрирования.

М. Паташник предложил пользоваться для вычисления этой площади приближенным методом интегрирования с помощью формулы трапеций.

Для приближенного вычисления интеграла типа $\int_a^b y dx$ этим методом (рис. 41)

промежутков от $a (= x_0)$ до $b (= x_n)$ разделяется на n равных частей, и для точек деления $x_0, x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n$ вычисляются значения интегрируемой

функции y . Затем пользуются формулой (полагая $h = \frac{b-a}{n}$).

$$\int_a^b y dx = \frac{h}{2} (y_0 + 2y_1 + 2y_2 + \dots + 2y_{n-1} + y_n), \quad (\text{III,28})$$

$$\text{или } \int_a^b y dx = h \left(\frac{y_0}{2} + y_1 + y_2 + \dots + y_{n-1} + \frac{y_n}{2} \right) \quad (\text{III,29})$$

Формулу Паташника можно упростить, если учесть, что в кривой смертности первое и последнее значения ординаты (y_0 и y_n)

ничтожно малы (ибо коэффициент $\frac{L_u}{L_F}$ в самом начале подогрева и в конце охлаждения близок к нулю) и что ими можно пренебречь. Тогда формула трапеций превращается в формулу прямоугольников (рис. 42).

$$\int_a^b y dx = h (\dots y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_{n-1}). \quad (III,30)$$

Если же нас интересует вычисление F -эффекта не всего процесса, а только части его (например, F -эффекта периода прогрева), причем в начале этого интересующего нас периода y_0 ничтожно мало, а в конце (т. е. в той точке, где начинается выпуск пара) значение y_n велико и им нельзя пренебречь, то интегрирование следует производить по формуле:

$$\int_a^b y dx = \frac{h}{2} (\dots 2y_1 + 2y_2 + \dots + 2y_{n-1} + y_n). \quad (III,31)$$

Это выражение можно представить в следующем виде:

$$\int_a^b y dx = h \left(\dots y_1 + y_2 + \dots + y_{n-1} + \frac{y_n}{2} \right). \quad (III,32)$$

Пользуясь для интегрирования правилом прямоугольников, можно вычислить F -эффект данного процесса, не прибегая даже к построению кривой. Для этого нужно иметь под рукой таблицу коэффициентов $\frac{L_u}{L_F} = K_F$ (табл. 17), рассчитанную по формуле (III,26), и табличные данные процессов нагрева и охлаждения, в которых отсчеты температуры сделаны через равные промежутки времени. Отбросив первое и последнее значения $\frac{L_u}{L_F}$ и просуммировав согласно формуле (III,30)

Рис. 42. Приближенное интегрирование методом прямоугольников.

все остальные значения $\frac{L_u}{L_F}$, следует умножить полученную сумму значений $\frac{L_u}{L_F}$ на «равномерный» интервал. Найденное произведение и есть приведенный стерилизующий эффект процесса.

$t^\circ C$	K_F	$t^\circ C$	K_F	$t^\circ C$	K_F	$t^\circ C$	K_F
90,0	0,0008	100,5	0,0087	111,0	0,098	121,5	1,10
90,5	0,0009	101,0	0,0098	111,5	0,109	122,0	1,23
91,0	0,0010	101,5	0,0109	112,0	0,123	122,5	1,38
91,5	0,0011	102,0	0,0123	112,5	0,138	123,0	1,55
92,0	0,0012	102,5	0,0138	113,0	0,155	123,5	1,74
92,5	0,0014	103,0	0,0155	113,5	0,174	124,0	1,95
93,0	0,0015	103,5	0,0174	114,0	0,195	124,5	2,19
93,5	0,0017	104,0	0,0195	114,5	0,219	125,0	2,46
94,0	0,0019	104,5	0,0219	115,0	0,246	125,5	2,76
94,5	0,0022	105,0	0,0246	115,5	0,276	126,0	3,09
95,0	0,0025	105,5	0,0276	116,0	0,309	126,5	3,46
95,5	0,0028	106,0	0,0309	116,5	0,346	127,0	3,89
96,0	0,0031	106,5	0,0346	117,0	0,390	127,5	4,37
96,5	0,0035	107,0	0,0390	117,5	0,437	128,0	4,90
97,0	0,0039	107,5	0,0437	118,0	0,490	128,5	5,50
97,5	0,0044	108,0	0,0490	118,5	0,550	129,0	6,18
98,0	0,0049	108,5	0,0550	119,0	0,618	129,5	6,92
98,5	0,0055	109,0	0,0618	119,5	0,690	130,0	7,75
99,0	0,0062	109,5	0,0690	120,0	0,775		
99,5	0,0069	110,0	0,0775	120,5	0,872		
100,0	0,0078	110,5	0,0872	121,0	0,978		

Таким образом, применительно к нашей конкретной задаче, общие математические обозначения формулы (III,30) преобразуются следующим образом:

$$\int_a^b \frac{L_u}{L_F} d\tau = \tau_p \left(\dots \frac{L_{u_1}}{L_F} + \frac{L_{u_2}}{L_F} + \frac{L_{u_3}}{L_F} + \dots + \frac{L_{u_{n-1}}}{L_F} \right), \quad (III,33)$$

где τ_p — равномерный промежуток времени, после которого делается запись температуры в центре банки (например 5 минут).

Примечание. Практически принято отбрасывать не только первое и последнее значения $\frac{L_u}{L_F}$, но и все значения $\frac{L_u}{L_F}$ ниже 93—95°C, как имеющие ничтожно малую величину. Поэтому формулу (III,33) следует писать так:

$$\int_a^b \frac{L_u}{L_F} d\tau = \tau_p \left(\frac{L_{u_{95^\circ}}}{L_F} + \frac{L_{u_2}}{L_F} + \frac{L_{u_3}}{L_F} + \dots + \frac{L_{u_{95^\circ}}}{L_F} \right). \quad (III,34)$$

Для примера приведем расчет F -эффекта режима стерилизации консерва «зеленый горошек» в стеклянной банке СКО № 83-1 при температуре 120°C. Допустим, что в процессе стерилизации и замера температур в центре банки получена следующая таблица (табл. 18):

Таблица 18

Время от начала прогрева (в мин.)	Температура в центре банки (в°С)
0	44
5	51
10	67
15	79
20	93
25 ¹	107
30	112
35	116
40	117
45	119
50 ²	120
55	118
60	110
65	101
70	90

Примечание. 1) Автоклав прогрет до 120°С.

2) Нагрев прекращен, начато охлаждение.

На основании этой таблицы находим по табл. 17 соответствующие значения переводного коэффициента $\frac{L_u}{L_F}$ (табл. 19). При этом практический интерес представляют значения $\frac{L_u}{L_F}$, соответствующие температурам в центре банки не ниже 93°С.

Таблица 19

Температура в центре банки (в°С)	K_F
93	0,0015
107	0,0390
112	0,123
116	0,309
117	0,390
119	0,618
120	0,775
118	0,490
110	0,0775
101	0,0098

Итого . . . 2,83

Согласно формуле (III,34), значения K_F нужно суммировать и полученную сумму умножить на τ_p . В данном примере сумма K_F равна 2,83, а τ_p равно 5 мин. Следовательно, F -эффект данного режима стерилизации равен $2,83 \times 5 = 14,2$.

Точность результатов, полученных с помощью приближенного интегрирования, зависит от степени «раздробленности» горизонтальной оси, т. е. от абсолютной величины равновременного отрезка времени. Понятно, что чем τ_p меньше, т. е. чем чаще делаются отсчеты температур, тем точнее получаются результаты. Паташиник, однако, показал, что нет смысла брать слишком малые значения τ_p , ибо, если уменьшить этот интервал до 2 мин., то точность повышается всего до 0,5—1%. В то же время повышение τ_p до 20 мин. уменьшает точность на 5—10%. Таким образом, лучше всего брать интервал в 5 мин. и только для быстро прогреваемых банок малого размера можно уменьшить его до значений ниже 5 мин.

Итак, пользуясь понятием об F -эффекте и приведенной выше вычислительной техникой, можно анализировать имеющиеся в литературе термограммы режимов стерилизации, давать им количественную оценку, вскрывать имеющийся в данном режиме стерилизации запас, количественно сравнивать различные режимы между собой. Схема такого анализа следующая:

- 1) по имеющейся термограмме находят температуру в центре банки через определенные промежутки времени;
- 2) по найденным температурным точкам вычисляют (или находят по табл. 17) соответствующие им значения переводного коэффициента K_F (для температур не ниже 93°С);
- 3) суммируют полученные значения K_F и полученную сумму умножают на равновременный отрезок, на который была разделена горизонтальная шкала;
- 4) по найденным значениям K_F строят также кривую F -эффекта в координатах: «время стерилизации (по горизонтальной оси) — переводной коэффициент (по вертикальной оси)».

На рис. 43—47 приведены полученные таким образом значения и кривые F -эффекта некоторых термограмм, имеющихся в книге А. Рогачевой «Стерилизация консервов» (1943).

Из приведенных данных видно, что режимы стерилизации даже в пределах одной группы, например мясных консервов, далеко не равноценны между собой по своему стерилизующему эффекту. Во всех этих режимах скрыт большой резерв, однако далеко неодинаковый. Так F -эффект режима стерилизации консерва «горох с говядиной», в банке СКО № 83-а при 120° примерно в два раза больше, чем для этого же консерва, расфасованного в банку СКО № 70. Сильно отличается F -эффект для «тушеной говядины», расфасованной в разные банки и стерилизованной при разных температурах. То же можно, примерно, сказать в отношении консерва «стручковая фасоль». Между тем ясно, что такого разбоя не должно быть.

Данные такого же порядка получены в лаборатории технологии консервирования Одесского пищевого института (ОТИПХИ). На рис. 48—52 приведены характеристики разных режимов стерилизации овощных закусочных и мясных консервов в соп-

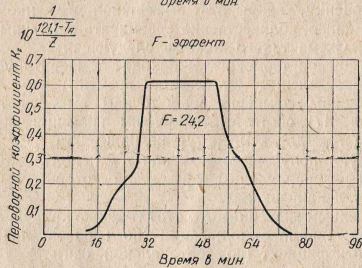
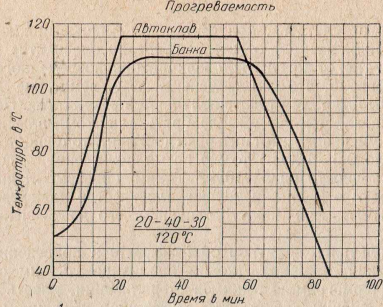


Рис. 43. Характеристика режима стерилизации мясорастительного консерва в банке СКО № 83-а.

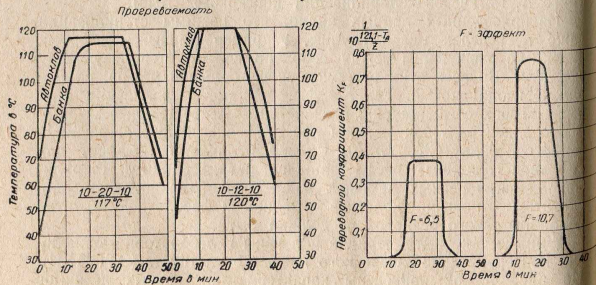


Рис. 44. Характеристика режима стерилизации стручковой фасоли.

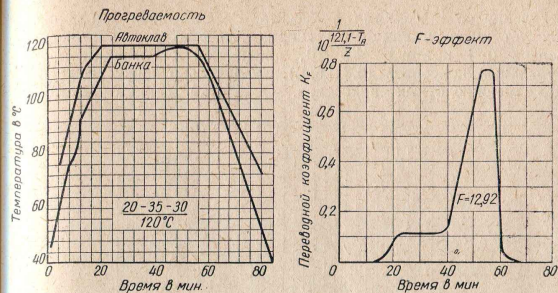


Рис. 45. Характеристика режима стерилизации мясорастительного консерва в банке СКО № 70.

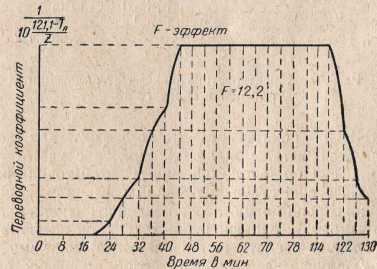
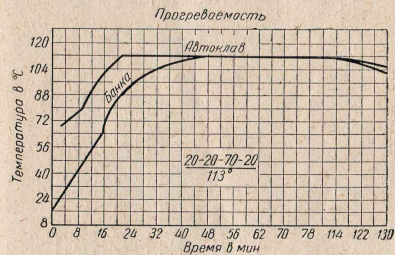


Рис. 46. Характеристика режима стерилизации тушенки в банке № 9.

ставлении со значениями F -эффекта. Рассматривая эти данные, следует иметь в виду, что «норма» F -эффекта для этих консервов (рН которых (4,5—5), ниже, чем рН мясных и натуральных консервов (6,3—6,4), значительно ниже, чем «норма» малокислотных консервов. Обработка данных некоторых

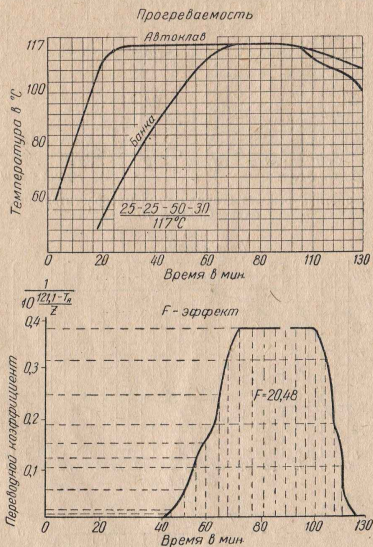


Рис. 47. Характеристика режима стерилизации тушенки в банке № 13.

работ ВНИКОП показывает, что F -эффект для закусочных консервов должен быть порядка 0,2 мин., а с учетом необходимого запаса, очевидно, около 0,5 мин. С этой точки зрения, очевидно, некоторые существующие режимы стерилизации овощных закусочных консервов можно несколько сжать («икра кабачковая», «икра баклажанная»), а другие режимы (группа «фаршированных», «резаных») следует сделать немного более жесткими.

Во всяком случае введение в практику производства процедуры «вскрытия» данного режима стерилизации путем математиче-

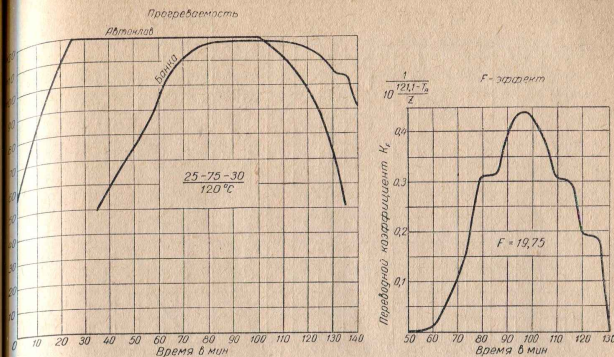


Рис. 48. Характеристика режима стерилизации свиной тушенки в банке СКО № 83-1.

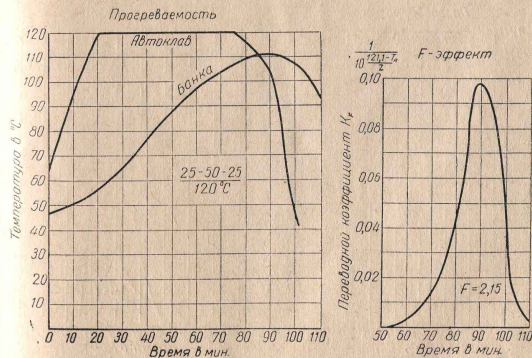


Рис. 49. Характеристика режима стерилизации икры баклажанной в банке СКО № 83-1.

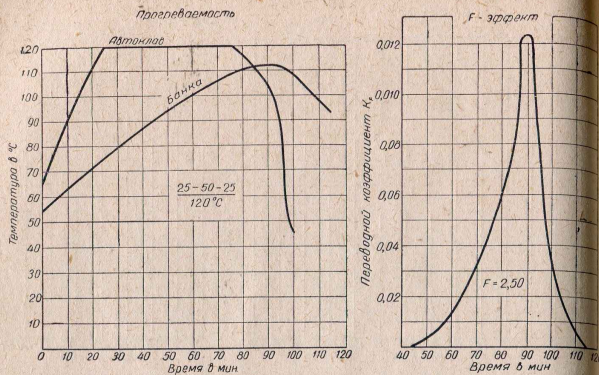


Рис. 50. Характеристика режима стерилизации икры кабачковой в банке СКО № 83-1.

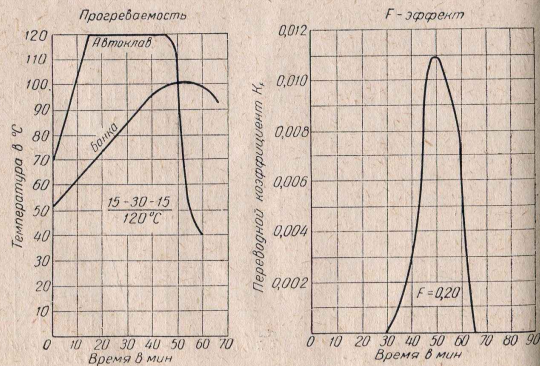


Рис. 51. Характеристика режима стерилизации перца резаного с фаршем в банке № 12.

ской обработки термометром прогреваемости консерва и вычисления F -эффекта дает возможность контролировать процесс стерилизации и вносить в него необходимые коррективы.

В заключение этого раздела можно сказать, что методом приближенного интегрирования можно воспользоваться не только для вычисления приведенного, а и для расчета обычного стерили-

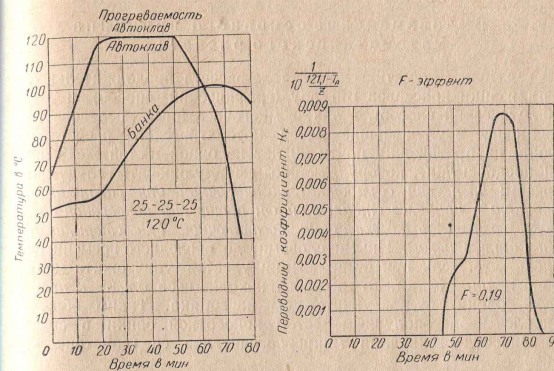


Рис. 52. Характеристика режима стерилизации баклажанов фаршированных в банке СКО № 83-1.

зующего эффекта данного процесса. Для этого следует также решить упрощенным методом интеграл $\int_a^b y dx$, где y — это L_u , $dx = dt$, а всё подинтегральное выражение $L_u dt$ представляет собой D — стерилизующий эффект процесса, или же площадь, ограниченную кривой смертности. В этом случае можно записать, что

$$D = \tau_p (L_{u_{0,5}} + L_{u_2} + L_{u_3} + \dots + L_{u_{99}}). \quad (11,35)$$

Если умножить полученный результат на 100, то величина 100D будет выражать стерилизующий эффект данного режима в процентах к минимально необходимому (т. е. к такому, при котором как раз уничтожаются все споры данного микроорганизма).

$$C_s = 100D. \quad (11,36)$$

Здесь D — доля уничтоженных микроорганизмов,

C_s — стерилизующий эффект в %.

В том случае, если С₂ меньше 100%, в результате данного режима стерилизации уничтожены не все микробы. Если С₂ больше 100%, значит, стерилизация в данном случае проводилась излишне долго.

5. Пути дальнейшего развития аналитического метода

а. Видоизменение основного принципа математического расчета

Создатели математического метода расчета продолжительности стерилизации консервов Бигделу (графический способ) и Болд (аналитический способ), а также многочисленные исследователи, уточнявшие и улучшавшие метод математического расчета, исходили на протяжении почти 30 лет из одной и той же основной предпосылки, которую можно сформулировать следующим образом: *тепловая обработка, достаточная для стерилизации продукта в наиболее отдаленной от периферии консервной банки точке, является в то же время достаточной для стерилизации всей банки в целом.* Иными словами, до последнего времени считалось, что, если при стерилизации удается уничтожить микробов в центре банки, то микробы, находящиеся ближе к поверхности банки, будут уничтожены наверняка. Таким образом, наиболее неблагоприятным местом консервной банки в смысле возможности выживания микробов считался ее геометрический центр.

Правильность этого основного принципа впервые была поставлена под сомнение американским ученым Стамбо. Всегда ли центр банки является наиболее неблагоприятным местом и можно ли определять положение наиболее неблагоприятного места только лишь исходя из принципа проникновения тепла в банку, *не учитывая концентрации микробов?* Да, конечно, центр банки является наиболее неблагоприятным местом в смысле прогреваемости, но в то же время центр банки является наиболее благоприятным местом в смысле концентрации микробов. Хотя центр банки прогревается меньше, чем другие участки, но и микробов в нем меньше. В сущности, в геометрическом центре может находиться всего одна споры или, в крайнем случае (если считать центр банки не точкой, а очень малым объемом) — несколько спор. А смертельное время, как об этом подробно рассказано в разделе II, 1в, в сильнейшей мере зависит от количества микроорганизмов. Поэтому, как отмечает Стамбо, при определении наиболее неблагоприятного участка консервной банки необходимо учитывать как прогреваемость отдельных слоев, так и количество содержащихся микробов.

Исходя из этих соображений, Стамбо предложил определять продолжительность стерилизации путем сопоставления жесткости тепловой обработки, которую испытывают отдельные слои в кон-

сервной банке, с той жесткостью, которую *требуется* создать в каждом слое, исходя из прогреваемости слоя и количества содержащихся в нем микробов.

Таким образом, для математического расчета продолжительности стерилизации консервов, основанного на этом новом принципе, требуется знать (помимо количества микробов в разных слоях банки) скорость прогреваемости не только центра банки, но и отдельных слоев. Скорость же прогреваемости отдельных слоев банки (так же, как и скорость прогреваемости центра) зависит от физических свойств продукта, т. е. от того, каким способом передается в данном продукте тепло — путем теплопроводности или путем конвекции. Поэтому в своих расчетах, основанных на новом принципе, Стамбо опирался на данные исследователей, которые изучали *послойную прогреваемость консервных банок* для таких разного типа продуктов.

Упомянутые данные о послойной прогреваемости имеются в работах Джексона и Ольсона. Желая отвлечься от затемняющего картину разнообразия пищевых продуктов, избежать от всякого рода случайных искажений и получить в то же время типичные результаты, эти авторы выбрали в качестве испытуемой среды для прогрева суспензии бентонита. При этом оказалось, что 5%-ные водные суспензии бентонита дают кривые проникновения тепла, типичные для тех случаев, когда пищевые продукты прогреваются путем теплопроводности. 1%-ные же суспензии дают картину прогреваемости жидких продуктов, в которых тепло распространяется конвективным путем.

б. Определение времени стерилизации продуктов, в которых тепло распространяется путем теплопроводности

Итак, вспомним прежде всего механизм теплопередачи в среде, где тепло распространяется путем теплопроводности. Если банка в процессе стерилизации неподвижна, то продукт во время прогрева тела не перемещается. Во время прогревания тепло от окружающей среды передается периферийному слою продукта в банке, затем проникает внутрь, в направлении центра банки, без того, чтобы частицы продукта и находящиеся в нем микробы изменяли свое местоположение в банке. При этом можно принять (особенно в том случае, если жесткая банка прогревается паром), что очень тонкий слой продукта, прилегающий к стенке банки, воспринимает температуру тлеющей среды почти мгновенно. Затем тепло передается внутрь по направлению к центру от всех точек на поверхности банки. Во время начальной фазы прогрева небольшая порция продукта вблизи геометрического центра не нагревается и температура ее в течение некоторого периода остается постоянной. Температура же продукта вблизи стенки банки во время этого периода «запаздывания» повышается. По истечении периода запаздывания температура плавно повышается от центра к стенке банки (рис. 53). Если нагревание продолжается достаточно долго, то со временем все содержимое банки примет температуру окружающей среды; однако последней порцией консерва, до которой дойдет эта температура, будет порция, находящаяся вблизи геометрического центра банки (точка наиболее медленного прогрева).

Если в конце заданного периода прогрева погрузить банку в холодную воду (например, при температуре 20°С), то направление теплопередачи в банке меняется в обратную сторону и содержимое охлаждается до тех пор, пока не наступит равновесие с окружающей средой. Вследствие того, что подъем температуры при нагревании и падение при охлаждении до субстанальной температуры занимает значительно меньше времени, чем нагревание и охлаждение до минимально летальной точки до максимального уровня, достигаемого при стерилизации. Поэтому хотя температура в центре банки падает медленнее, чем в других местах, однако именно в центре банки имеется небольшой объем продукта, который в общем подвергается менее жесткой тепловой обработке, чем порция, находящаяся в любом другом месте консервной банки. Таким образом, можно сказать, что жесткость тепловой обработки прогрессивно возрастает в любом направлении от центра банки к ее стенкам.

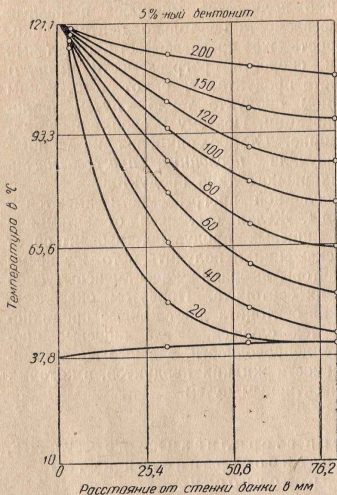


Рис. 53. Послойная прогрессивность 5%-ного бенитинга.

внутри другого, начиная от большего и кончая меньшим, таким образом, что геометрический центр каждого воображаемого цилиндра является общим с геометрическим центром консервной банки (рис. 54). Расчеты показывают, что поверхность каждого из этих воображаемых цилиндров представляет собой число бактерий, которое так относится к числу бактерий, представленных поверхностью данной банки, как поверхность воображаемого цилиндра к поверхности данной банки. Точно так же поверхность любого воображаемого цилиндра так относится к поверхности другого, как число бактерий на поверхности одного к числу бактерий на поверхности другого. Что касается жесткости тепловой обработки, то уменьшение таковой от периферии банки к ее центру также связано с соответственным уменьшением поверхности воображаемых цилиндров; поэтому уменьшению жесткости отвечает и соответственное уменьшение числа бактерий от периферии к центру банки. Необходимо отметить, что приведенные выше зависимости не вполне точны. Но считают, что отличие их от истинных, более сложных зависимостей, существующих при стерилизации, настолько невелики, что вытекающими из этих допущений ошибками можно при расчете продол-

тельности стерилизации пренебречь. Истинные же зависимости можно было бы изобразить, если представить себе воображаемые емкости разных размеров, формы которых постепенно изменяется от цилиндрической к эллипсоидальной (считая от периферии к центру физической банки). Эти истинные зависимости должны быть также связаны с размерами и формой исходной банки, но общее влияние всех этих факторов считают незначительным и им вполне справедливо пренебрегают в последующих расчетах.

Допустим теперь, что продукт, в котором тепло распространяется путем теплопроводности, помещен в банку № 10¹ и что механизм теплопередачи в данном консерве подобен тому, который описан Джековом и Олсоном для 5%-ной бенитинговой суспензии. Допустим далее, что в этой консервной банке находится 10 000 спор *Cl. botulinum*, какой участок банки будет наиболее неблагоприятен по всей массе продукта. Какой участок банки будет наиболее неблагоприятен в смысле выживаемости микробов, или, как выражается автор этого примерного расчета Стамбо, в каком участке банки вероятнее выживаемости спор? Будет наибольшим? Каков будет *F*-эффект тепловой обработки спора в геометрическом центре банки при условии, что вероятность выживаемости спор составляет 1 на 1 000 000 000, а также какова будет величина приведенного стерилизующего эффекта в том участке банки, где вероятность выживаемости является наибольшей?

Для условия в 10 000 спор на банку № 10, на каждые, приблизительно, 0,3 г продукта придется одна спора. Расчет также показывает, что в слое, непосредственно прилегающем к стенке банки, толщиной в 0,3 см содержится приблизительно 1215 спор; 860 спор содержится в слое равной толщины, прилегающем к стенке воображаемого цилиндра 127 мм в диаметре и 152,4 мм высоты; 567 спор находится в подобном же слое, примыкающем к воображаемому цилиндру 101,6 мм в диаметре и 127 мм высоты, 347 спор — в соответствующем слое у воображаемого цилиндра 76,2 мм в диаметре и 101,6 мм высоты; 162 споры находятся в слое у воображаемого цилиндра 50,8 мм в диаметре и 76,2 мм высоты и 50 спор в слое у воображаемого цилиндра 25,4 мм в диаметре и 50,8 мм высоты. Если допустить, что в геометрическом центре находится одна спора и сопоставить на графике количество спор на поверхности воображаемых цилиндров с радиусом этих цилиндров, то получится так называемая спорораспределительная кривая. Эта кривая показывает возрастание количества спор от центра банки № 10 к ее стенке при условии, что по всей массе консерва равномерно распределено 10 000 спор (рис. 55).

Отсюда можно рассчитать жесткость тепловой обработки, которая необходима для снижения количества спор в разных участках банки до какого-то заданного уровня. Положив в основу расчета приведенные выше данные о количестве спор в центре банки и на поверхности воображаемых цилиндров, можно вычислить жесткость тепловой обработки, измеряемую *F*-эффектом, необходимую для снижения количества спор в любом участке банки до 0,000 000 001 (табл. 20).

Эти значения *F*-эффекта были вычислены исходя из наклона кривой скорости уничтожения спор *Cl. botulinum* при 121,1°С ($Z = 0,217$) с помощью формулы (11, 24) (раздел II, 1в)

$$t = Z (\log B - \log b),$$

¹ Американский стандарт. Размеры этой банки $D \times H$ — наружные — 15,88 × 17,78 мм, внутренние — 15,40 × 16,83 мм; внутренний объем 3134 см³.

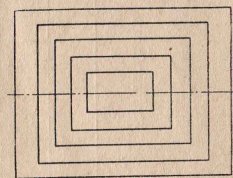


Рис. 54. Схема послойной прогрессивности.

и (III,22) (раздел III,4в):

$$a = Z (\log B - \log b)$$

$$F_0 = \frac{a}{10^{\frac{121,1 - T_A}{z}}}$$

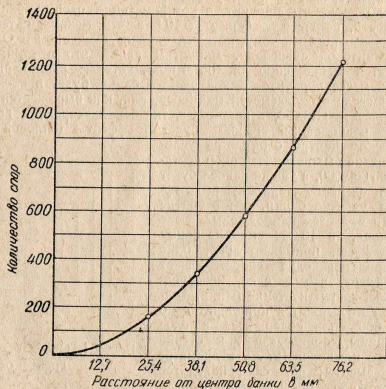


Рис. 55. Спорораспределительная кривая.

T_A было принято равным $121,1^\circ \text{C}$. Значение Z составило 10°C , хотя в данном случае величина Z , принимаемая для расчета, значения не имеет (все равно покажутся степени при 10 равен нулю). Значение $Z = 0,217$ вычислено Стамб как среднее из данных Эсти — Мейера и Таунсенда.

Таблица 20

Начальное количество спор	Требуемый F-эффект
1 (центр)	1,953
50 (радиус цилиндра 12,7 мм)	2,322
162 (радиус цилиндра 25,4 мм)	2,433
347 (радиус цилиндра 38,1 мм)	2,504
567 (радиус цилиндра 50,8 мм)	2,550
860 (радиус цилиндра 63,5 мм)	2,589
1215 (радиус цилиндра 76,2 мм)	2,622

Если отложить полученные таким образом для разного числа спор значения F-эффекта на линейной шкале, сопоставляя их с соответствующим количеством спор, отложенным на логарифмической шкале, то получается прямая линия. Эту линию можно называть F-потребной кривой (кривая № 1, рис. 56) для спор *C. botulinum*. Для практических целей F-потребная кри-

вая должна быть получена на основании данных о смертельном времени для спор ботулиноса применительно к той среде, для которой рассчитывается время стерилизации.

Данные о прогреве в различных участках банки, между геометрическим центром и стенкой можно для данного примера взять по термораспределительным кривым, полученным Джексоном и Ольсоном для 5%-ной бентонитовой

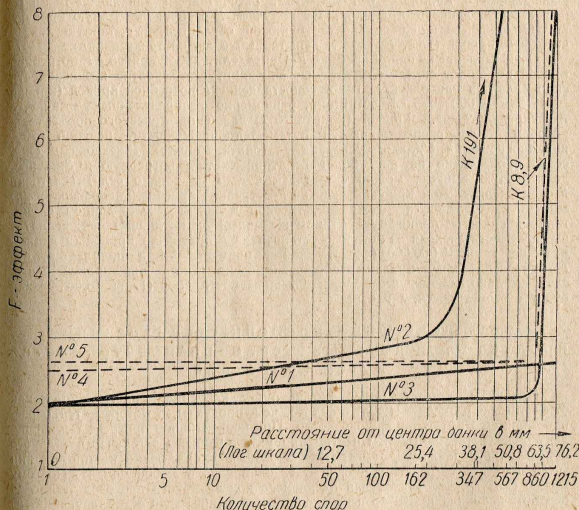


Рис. 56. F-потребная кривая для 5%-ного бентонита.

супензии (рис. 53). На основании этих кривых прогрета можно вычислить значения F-эффекта в различных точках банки. Это вычисление производится следующим образом: если допустить, что в геометрическом центре находится одна спора, то для того, чтобы уменьшить вероятность выживания в этой точке до 0,000 000 001, необходимый F-эффект должен составить не менее 1,95. Ведя расчет в обратном направлении, можно, на основании параметров соответствующей кривой прогрета и данного значения F, рассчитать необходимую продолжительность стерилизации (см. раздел III, 4г). Для температуры в $121,1^\circ \text{C}$ это время оказывается равным 191 мин. Теперь на основании этой цифры — 191 минута — можно обратным ходом высчитать значения F-эффекта для других точек, находящихся на разных расстояниях от центра (олять таки, пользуясь данными термораспределительных кривых, составленных для разных точек банки и в различных промежутки времени). Без всякого расчета можно при этом, что F-эффект для слоя продукта, прилегающего к стенке банки, составляет 191 мин. Что касается других слоев продуктов в банке, то F-эффект был рассчитан для точек, находящихся на определенных расстояниях от геометрического центра и лежащих в горизонтальной воображаемой плоскости, рас-

секающей банку посредине между дном и крышкой. При этом можно себе представить, что каждая такая точка лежит на поверхности воображаемого «продуктового» цилиндра, радиус которого равен расстоянию от центра банки до соответствующей точки. При расчете принималось, что высота каждого цилиндра настолько меньше высоты банки, насколько диаметр цилиндра меньше диаметра банки. Сопоставляя на графике число спор на поверхности каждого воображаемого цилиндра с F -эффектом, рассчитанным для любой точки на поверхности данного цилиндра, мы получаем F -распределительную кривую, которая указывает на жесткость тепловой обработки, испытанную любым числом микробов (т. е. F -эффект, испытанный в любой точке банки).

Сопоставление на одном графике F -распределительной кривой с F -потребной кривой позволяет определить тот участок банки, где вероятие выживаемости спор является наибольшим. Такое сопоставление F -потребной кривой (кривая № 1) для 10 000 спор *Cl. botulinum*, равномерно распределенных в банке, с F -распределительной кривой (кривая № 2) для гипотетического продукта, в котором тепло распространяется путем теплопроводности, подобно тому, как прогревается 5%-ая суспензия бентонита в опытах Джексона и Ольсона, произведено на рис. 56. Рассматривая эти F -потребную и F -распределительную кривые, можно сказать, что, если (и только если) все точки F -распределительной кривой лежат на F -потребной кривой или расположены выше нее, то вероятие выживаемости спор в любом слое (в данном случае толщиной 0,3 см) банки будет таким же малым или меньшим, чем вероятие выживаемости спор в центре банки, из которого установлена F -потребная кривая (в данном примере 1 на 1 000 000 000). В данном примере так и получается, что F -распределительная кривая расположена выше F -потребной кривой и что, следовательно, наибольшее вероятие выживаемости спор (1 на 1 000 000 000) будет в геометрическом центре.

в. Определение времени стерилизации продуктов, в которых тепло распространяется путем конвекции

Продукты, которые прогреваются путем конвекции, прогреваются, как отмечалось в разделе (II, 2а), быстрее, чем продукты, в которых тепло распространяется путем теплопроводности. При конвективном прогреве теплопередача облегчается движением частиц продукта в банке. Для случая идеального конвективного прогресса температура в разных слоях банки на протяжении всего процесса нагревания должна быть одинакова в любой момент. Поэтому можно сказать, что для случая идеального конвективного прогресса тепловая обработка должна иметь во всех слоях банки одинаковый стерилизующий (F) эффект. Хотя такой идеальный прогресс вряд ли осуществим, однако ясно, что более или менее значительное движение продукта в банке при прогреве приводит к более однородному нагреванию. Вопрос о том, насколько близко можно подойти к идеальным условиям, зависит при прочих равных условиях от интенсивности движения частиц продукта, т. е. косвенным образом, от физических свойств продукта.

Исследуя однопроцентные суспензии бентонита, Джексон и Ольсон получили термостойкостные кривые для продукта, стерилизуемого в банке № 10. Эти кривые, представленные на рис. 57, показывают распределение температур (в центральной горизонтальной плоскости, пересекающей данную банку) в различные определенные моменты времени в разных слоях банки при стерилизации при 121,1° С. По аналогии с предыдущим выкладками, на основании термостойкостных кривых удалось вычертить соответствующую F -распределительную кривую для этого конвективно прогрессованного материала. Эта кривая (кривая № 3) тоже показана на рис. 56. Рассматривая рис. 56, можно отметить, что значительная часть кривой № 3 лежит ниже кривой № 1, F -потребной кривой для *Cl. botulinum*. Это указывает на то, что найденная в данном случае продолжительность стерилизации (8,9 мин. при 121,1° С), рассчитанная на обеспечение в центре банки F — эффекта в 1,95 мин., недоста-

точно для того, чтобы уменьшить вероятие выживаемости спор до 1 на 1 000 000 000 во всех слоях банки. Любопытно, что вероятие выживаемости спор в данном случае приобретает наибольшее значение как раз в местах, весьма удаленных от геометрического центра (в этом примере максимальная выживаемость будет на поверхности воображаемого цилиндра, радиус которого составляет 63,5 мм и геометрический центр которого является общим с геометрическим центром банки). Теперь для того, чтобы найти такое значение, которое бы обеспечило заданную выживаемость (0,000 000 001) в любой точке, в том числе и в слое, где вероятие выживаемости наибольшее, следует кривую № 3 «принудить» до тех пор, пока та точка этой кривой, которая наиболее удалена от кривой № 1, не окажется на этой F -потребной кривой. Принадлежа таким образом кривая показана на рис. 56 пунктиром под № 4. Значение F -эффекта, указанное новой точкой пересечения кривой № 4 с осью Y , является тем F -эффектом, который нужно было бы обеспечить в центре банки, чтобы уменьшить вероятие выживаемости спор в точке, где это вероятие является наибольшим, до 1 на 1 000 000 000.

В данном примере этот F -эффект составляет 2,5 мин. вместо 1,95, которые дает расчет по старой предпосылке, т. е. по центру банки. Что касается кривой № 5, изображенной на графике 56, то это F -распределительная кривая для гипотетического продукта с идеально конвективной прогрессаемостью. Интересно отметить, что F -эффект, обеспечивающий выживаемость спор в 0,000 000 001 в этой точке, где вероятие выживаемости является наибольшим, и который определяется точкой пересечения кривой № 5 с осью Y , составляет 2,62 мин.

Итак, из всего приведенного выше материала следует, что для того, чтобы обеспечить выживаемость спор не более одной на миллиард в любой точке банки № 10, следует, чтобы в центре банки были следующие значения F -эффекта:

для продуктов, прогреваемых путем теплопроводности 1,95
для продуктов, прогреваемых конвективно 2,50
(при условии, что в банке находятся 10 000 спор *Cl. botulinum*).

г. Влияние термостойкости спор на определение времени стерилизации по новому методу

Таким образом, для продуктов, в которых передача тепла осуществляется разными способами, требуется и разное значение F -эффекта. Величина этой разницы должна, по-видимому, быть как-то связана с термостойкостью

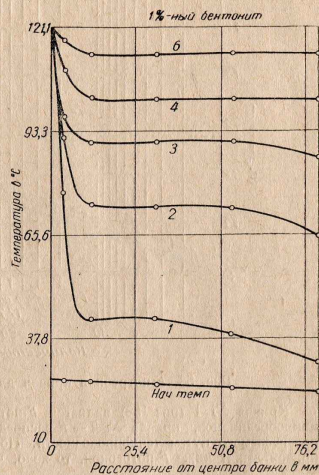


Рис. 57. Последняя прогрессаемость 1%-ого бентонита.

данного микроорганизма. Относительная величина этой разницы видна при сравнении рис. 56 и 58. Кривые, изображенные на рис. 58, построены тем же способом, что и кривые, показанные на рис. 56. Значения F -эффекта для изображенной на рис. 58 F -потребной кривой рассчитаны применительно к глинистым анаэробам 3679, принимая, что Z равно 1,0, а $Z - 10^6$ С (табл. 21).

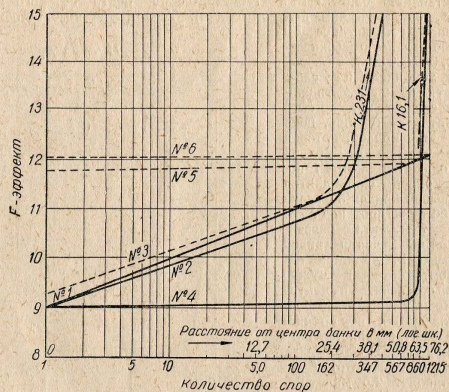


Рис. 58. F -потребная кривая для 1%-ного бентонита.

Кривая № 1 (рис. 58) является F -потребной кривой для данного вида микроорганизмов, кривая № 2 — F -распределительной кривой для продукта, прогреваемого путем теплопроводности. Поскольку значительная часть этой кривой лежит ниже F -потребной, то ясно, что продолжительность стерилиза-

Таблица 21

Начальное количество спор	Требуемый F -эффект
1	9
50	10,7
162	11,21
347	11,54
567	11,75
860	11,93
1215	12,08

ция, обеспечивающая заданную степень уничтожения спор (1 на 1 000 000 000) в центре банки, будет недостаточна для того, чтобы добиться этого результата во всех точках банки. Следует также отметить, что вероятность выживания микробов является наибольшим как раз в тех точках, которые находятся на значительном удалении от центра (в данном случае — на поверхности воображаемого цилиндра, радиус которого составляет 25,4 мм и геометрический центр которого является общим с геометрическим центром банки). Поднима-

кривую № 2 до тех пор, пока все точки ее не оказываются на F -потребной кривой № 1, или выше ее, мы получаем кривую № 3. Эта кривая пересекает ось y в точке со значением F в 9,30 мин. Поэтому, чтобы добиться заданной степени уничтожения спор (0,000 000 001) во всех участках банки, следует произвести такую тепловую обработку, чтобы значение F -эффекта в центре банки составило не менее 9,30 мин.

Кривые № 4 и № 5 являются аналогичными (кривым № 2 и № 3) кривыми, полученными для 1%-ной бентонитовой суспензии (конвективный прогрев). Кривая № 4 гораздо сильнее отличается от F -потребной кривой, чем соответствующая кривая № 3 от F -потребной кривой для *Cl. botulinum* на рис. 56. Соответственно этому пересечение кривой № 5 с осью дает значение F -эффекта, равное 11,81, которое почти на 3 мин. отличается от значения F -эффекта, рассчитанного для центра банки. Кривая № 6 является теоретической F -распределительной кривой для материала с идеально конвективным прогревом (F -эффект равен 12,08).

Полученные данные можно свести в таблицу (табл. 22).

Таблица 22

Вид микроорганизма	Требуемый F -эффект в центре банки		
	теплопроводность	конвекция	идеальная конвекция
<i>Cl. botulinum</i> № 3679	1,95 9,30	2,50 11,81	2,62 12,08

д. Дальнейшее развитие и пути практического приложения нового принципа аналитического расчета

Приведенные в предыдущих пунктах этого раздела соображения, касающиеся влияния механизма теплопередачи и порядка гибели микроорганизмов на F -эффект, требуемый для стерилизации консервов, представлены только лишь для того, чтобы показать, что эти факторы, которыми раньше пренебрегали, нужно обязательно принимать в расчет. Безусловно, термораспределительные кривые, полученные для бентонитовых суспензий, нельзя использовать для расчета продолжительности стерилизации пищевых продуктов. Эти кривые приводятся автором нового принципа только лишь для того, чтобы показать, какие факторы нужно учитывать при решении аналогичных задач с реальными пищевыми продуктами. В сущности, основные принципы механизма теплопередачи будут одни и те же, идет ли речь о бентонитовых суспензиях или о пищевых продуктах. Отдельные показатели, характеризующие прогрееваемость бентонитовых суспензий, близки к соответствующим показателям реальных продуктов. Так, f_h кривых прогрета 1%-ной бентонитовой суспензии в банке № 10 составляет 4,3, а f_h для конвективно прогреваемых реальных пищевых продуктов находится в интервале 5—15. Точно так же f_h кривых прогрета 5%-ной бентонитовой суспензии составляет 174, а f_h кривых прогрета реальных продуктов,

прогревающихся путем теплопроводности, находится в пределах 150—200 в банке № 10 (емк. 3134 см³).

Однако верно и то, что для решения практических задач применительно к реальным консервам необходимо, в первую очередь, располагать подробными данными о послойной прогре-

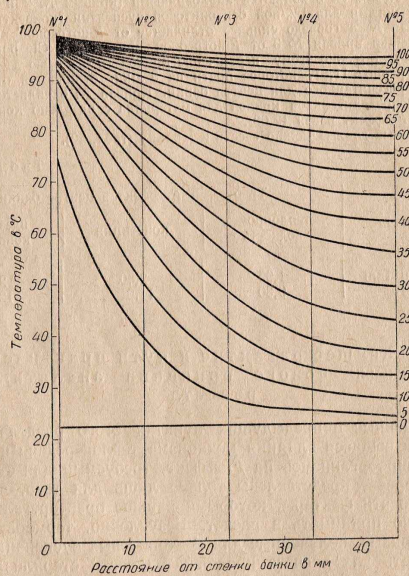


Рис. 59. Послойная прогреваемость томатного соуса.

браженные на этих рисунках, очень напоминают кривые, показанные на рис. 53 и 57.

Нужно сказать, что приведенная выше методика расчета не является ни единственной в этом роде, ни слишком тонкой. Многие авторы (Болл, Хикс, Джиллеспей, Гурвич, Якобсен

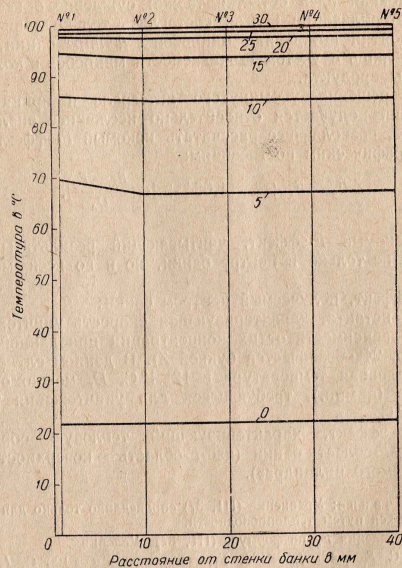


Рис. 60. Послойная прогреваемость апельсинового сока.

ваемости различных пищевых продуктов. Следует тщательно изучить влияние размеров тары, температуры стерилизации и прочих факторов на термораспределение в консервной банке. Самый же метод расчета при решении конкретных практических задач может быть такой же, какой был принят в приведенных выше расчетах с бентонитовыми суспензиями. На рис. 59 и 60 показаны кривые послойной прогреваемости томатного соуса (рис. 59) и апельсинового сока (рис. 60) при стерилизации в банке СКО № 83-1 при 100°С. Данные получены в лаборатории технологии консервирования ОТИПХП. Кривые, изо-

и др.), критикуя терминологию и некоторые положения метода Стамбо, разработали свои модификации расчетов, дающие несколько более точные результаты и являющиеся менее громоздкими по выполнению. Да и сам Стамбо, учитывая критические замечания своих коллег, также видоизменил оригинальную методику расчета, отказавшись от графического метода сопоставления F -потребной и F -распределительной кривых. При этом Стамбо несколько видоизменил и самый принцип, который кладется в основу расчета. Последний принцип заключается в том, что для определения точного значения F -эффекта нужно проинтегрировать доли

выживающих микробов (или, как их называют, вероятия выживаемости, т. е. отношения $\frac{b}{B}$) по всей толще банки с учетом логарифмического порядка гибели их при прогреве. По существу, этот новый принцип не отличается радикально от первоначального. Основная идея остается та же: суждение о необходимом времени стерилизации нельзя составлять только лишь на основании вероятия выживания микробов в центре банки, а можно составить лишь с учетом выживаемости микробов в каждой слое всей массы продукта.

После решения упомянутого интеграла и принятия ряда ограничений получается относительно несложное аналитическое выражение, позволяющее рассчитать искомый F -эффект, не прибегая к графическим построениям:

$$F_s = F_c + D_r \left(1,084 + \log \frac{F_\lambda - F_c}{D_r} \right). \quad (\text{III}, 37)$$

Здесь:

F_s — искомый F -эффект, учитывающий результаты тепловой обработки не только в центре банки, но и во всей массе консерва;

F_c — эффект, получаемый центром банки;

D_r — константа, характеризующая скорость уничтожения микробов в зависимости от их концентрации при данной температуре (в ур. 24 обозначается буквой Z). В данном случае имеется в виду условная температура в $121,1^\circ\text{C}$. D_r можно определить как время (в мин.), требующееся для уничтожения 90% спор при $121,1^\circ\text{C}$.

$F_\lambda - F$ -эффект, характеризующий тепловую обработку в любой изо- F -области банки (изо- F -область — поверхность любого «воображаемого цилиндра»).

Примечание: Уравнение (III, 37) справедливо только для продуктов, прогреваемых путем теплопроводности.

Пример определения F_s по формуле (III, 37). Условия:

$T_A = 115,5^\circ\text{C}$, $F_c = 4,5$, $f_h = 195$, $T_H = 60^\circ\text{C}$, $m + g = 100^\circ\text{C}$, J_c (т. е. J в центре банки) = $1,82$, $z = 10^\circ\text{C}$, $D_r = 1,00$, объем банки равен -3134 см^3 , начальная концентрация спор — 10 в 1 см^3 .

Какой будет F -эффект такого процесса?

Решение: 1. По формуле (III, 21)

$$a_c = F_c 10^{\frac{121,1 - T_A}{z}} = 4,5 \cdot 10^{\frac{121,1 - 115,5}{10}} = 4,5 \cdot 3,594 = 16,173 \text{ мин.}$$

$$2. \frac{f_h}{u} = \frac{195}{16,173} = 12,057.$$

3. По таблице $\frac{f_h}{u} : g$ (или по графику 34) находим, произведя пересчет

степературной шкалы на шкалу Фаренгейта, что при $z = \frac{10 \cdot 9}{5} = 18^\circ$, $m + g =$

$= \frac{100 \cdot 9}{5} = 180^\circ$ и $\frac{f_h}{u} = 12,057$, $g_c = 10,05$. Отсюда (с учетом ограничений, о которых писалось выше), $g_\lambda = 10,05 \cdot 0,5 = 5,025$.

4. Снова из графика $\frac{f_h}{u} : g$ находим (для $g = 5,025$)

$$\frac{f_h}{u_\lambda} = 4,468.$$

5. Отсюда $u_\lambda = \frac{195}{4,468} = 43,65$.

$$6. F_\lambda = \frac{u_\lambda}{10^{\frac{121,1 - 115,5}{10}}} = \frac{43,65}{3,594} = 12,16. \quad (\text{III}, 22)$$

$$F_s = 4,5 + 1,00 \left(1,084 + \log \frac{12,16 - 4,5}{1,0} \right). \\ F_s = 6,468.$$

Пример показывает, что истинный F -эффект (F_s) больше F -эффекта для геометрического центра.

Примечание: Рассматривая формулу (III, 37), можно заметить, что разница между истинным F -эффектом и F -эффектом центра банки зависит от отношения $\frac{F_\lambda - F_c}{D_r}$. При определенных значениях этого отношения скобочное выражение в формуле (III, 37), а следовательно, и второе слагаемое этой формулы могут превратиться в нуль. При этом условии (и только при этом) F -эффект центра банки и есть истинный F -эффект для всей банки в целом.

При каких же значениях $\frac{F_\lambda - F_c}{D_r}$ F_s будет равняться F_c ? Это будет тогда, когда $\log \frac{F_\lambda - F_c}{D_r} = -1,084$ (тогда скобочное выражение равно нулю).

Если

$$\log \frac{F_\lambda - F_c}{D_r} = -1,084, \text{ то } \frac{F_\lambda - F_c}{D_r} = 10^{-1,084} = \frac{1}{10^{1,084}};$$

или приблизительно, когда

$$\frac{F_\lambda - F_c}{D_r} = \frac{1}{12}.$$

Окончательно можно записать, что

$$\frac{F_\lambda - F_c}{D_r} = 0,08. \quad (\text{III}, 38)$$

Только при этом значении $\frac{F_\lambda - F_c}{D_r}$ вероятие выживаемости микробов будет иметь наибольшее значение в центре банки и, значит, истинный F -эффект нужно определять по центру банки. В приведенном же выше примере это отношение составляло

$$\frac{12,16 - 4,5}{1,0} = 7,66,$$

т. е. было значительно больше критического.

Что же касается продуктов, прогреваемых конвективно, то истинный F -эффект можно, согласно Стамбо, рассчитать по следующей простой формуле:

$$F_s = D_r (\log B - \log b). \quad (\text{III.39})$$

(Если принять, что B обозначает начальное количество спор во всей банке, а b — содержание спор в банке после стерилизации, то в полученном значении F_s автоматически учтен размер банки.

Пример: Начальная концентрация спор *C. botulinum* в банке № 10 (объем = 3134 см³) составляет 10 см³. Каково должно быть истинное значение F -эффекта, если банка стерилизуется при 121,1°С до вероятия выживаемости 1 на миллиард?

По формуле (III, 39)

$$F_s = 0,217 (\log 31\,340 - \log 0,000\,000\,001), \\ F_s = 2,93.$$

При переходе же к банке других размеров новое значение F_s можно рассчитать по формуле:

$$F_{s_2} = F_{s_1} + D_r \log \frac{v_2}{v_1}, \quad (\text{III.40})$$

где F_{s_2} — истинный F -эффект искомой банки;

F_{s_1} — истинный F -эффект известной банки;

v_1 — объем известной (исходной) банки;

v_2 — объем искомой банки, т. е. той банки, истинный F -эффект которой F_{s_2} определяют.

Примечание: Эта формула справедлива и для продуктов, в которых тепло распространяется путем теплопроводности.

Заканчивая этот раздел, следует отметить, что новые методы расчета несколько не отрицают оригинальной методики Болла, а только развивают ее и уточняют. Однако для того, чтобы иметь возможность воспользоваться этими новыми методами расчета, необходима углубленная исследовательская работа, заключающаяся в изучении послонных термограмм для разных продуктов в разных условиях с целью получения экспериментальных данных, которые кладут в основу расчета.

Глава IV

ДАВЛЕНИЕ В КОНСЕРВНОЙ БАНКЕ ПРИ СТЕРИЛИЗАЦИИ

1. Давление в жестяной банке

Давление в консервной банке при стерилизации зависит от следующих факторов: температуры продукта при закатке и стерилизации (т. е. от упругости водяных паров, соответствующей данным температурам), степени наполнения банок продуктом, давления газов, образующихся при стерилизации продукта, и от теплового расширения продукта и банки, включая вздутые концы. Зависимость эту можно выразить математически.

Давление в банке при закатке равно атмосферному (если банка закатана не на вакуумзакаточной машине) и состоит из суммы парциальных давлений водяных паров и воздуха:

$$P_n'' + P_a'' = 1, \quad (\text{IV.1})$$

где

P_n'' — упругость водяных паров при закатке (в *ama*);

P_a'' — давление воздуха при закатке (в *ama*).

Давление в банке при стерилизации можно охарактеризовать таким уравнением:

$$P_n' + P_a' = P_c, \quad (\text{IV.2})$$

где

P_n' — упругость водяных паров при стерилизации;

P_a' — давление воздуха в банке при стерилизации;

P_c — суммарное давление в банке при стерилизации.

Вычтя из уравнения (IV.2) уравнение (IV.1), получим величину избыточного (сверх атмосферного) давления в банке.

$$P_c - 1 = [P_n' - P_n''] + [P_a' - P_a'']. \quad (\text{IV.3})$$

Уравнение (IV.3) представляет собой сумму двух разностей (которые, для наглядности, заключены в скобки): упругостей водяных паров и давлений воздуха. Величины P_n'' и P_a'' не зависят

¹ Для упрощения выводимой формулы можно незначительно поступиться точностью и положить физическую атмосферу равной технической атмосфере.

друг от друга. Величина же P'_n функционально связана с величиной P'_b . Поэтому P'_b можно выразить через P'_n и подставить полученное значение в уравнение (IV,3).

Если обозначить объем незаполненного пространства банки (т. е. объем воздуха) при закатке V_1 , а объем незаполненного пространства при стерилизации V_2 , соответствующие давления воздуха—через P'_n и P'_b и абсолютные температуры—через T_1 и T_2 , то характеристические уравнения для воздуха, находящегося в банке, будут иметь следующий вид:

$$P'_n V_1 = RT_1; \quad (IV,4)$$

$$P'_b V'_2 = RT_2; \quad (IV,5)$$

$$P'_b = \frac{RT_1}{V_1}; \quad (IV,6)$$

$$P'_b = \frac{RT_2}{V_2}. \quad (IV,7)$$

Разделим выражение (IV,7) на (IV,6):

$$\frac{P'_b}{P'_n} = \frac{T_2 V_1}{T_1 V_2},$$

откуда

$$P'_b = P'_n \frac{V_1 T_2}{V_2 T_1}. \quad (IV,8)$$

Подставив значение P'_b из выражения (IV,8) в уравнение (IV,3), получим:

$$P_c - 1 = P'_n - P'_n + P'_n \frac{V_1 T_2}{V_2 T_1} - P'_n$$

и окончательно:

$$P_c - 1 = P'_n - P'_n + P'_n \left(\frac{V_1 T_2}{V_2 T_1} - 1 \right). \quad (IV,9)$$

Таким образом, в уравнении (IV,9) фигурируют упругости водяных паров P'_n и P'_b и выражение $P'_b \left(\frac{V_1 T_2}{V_2 T_1} - 1 \right)$, которое характеризует изменение давления оставшегося в банке воздуха при стерилизации.

Если проанализируем уравнение (IV,9) и рассмотрим возможность его практического использования для расчета давления в банке при стерилизации, то легко заметим, что наибольшую трудность представляет расчет величины $P'_n \left(\frac{V_1 T_2}{V_2 T_1} - 1 \right)$, так как

для определения отношения $\frac{V_1}{V_2}$ не имеется достаточных данных. Все же остальные величины из уравнения (IV,9) (а именно: P'_n , P'_b , T_2 и T_1) известны для каждого данного случая.

Определение величины $P'_n \left(\frac{V_1 T_2}{V_2 T_1} - 1 \right)$ возможно произвести путем сопоставления формулы (IV,9) с данными экспериментальных определений давления в банке при стерилизации. Для того

кого сопоставления можно воспользоваться, например, материалами исследований Магуна и Кульпенпера по определению давления в жестяных банках объемом 994,5 см³, содержащих 100 и 950 см³ воды. При сопоставлении этих данных с формулой (IV,9) подставим в последнюю значения P'_n и P'_b , величину же $P'_n \left(\frac{V_1 T_2}{V_2 T_1} - 1 \right)$ обозначим для удобства через букву K (табл. 23 и 24).

Таблица 23

Температура (в °C)		Давление		
при закатке	при стерилизации	100 см ³ воды в банке	Рассчитано по формуле (112)	950 мм ³ воды в банке
50	100	0,97	0,874+K	0,77
50	109	1,37	1,274+K	1,15
50	116	1,77	1,674+K	1,51
60	100	0,87	0,80+K	—
60	109	1,27	1,20+K	—
60	116	1,65	1,30+K	—
70	100	0,76	0,68+K	0,69
70	109	1,14	1,08+K	—
70	116	1,52	1,48+K	1,41
80	100	0,56	0,50+K	—
80	109	0,94	0,90+K	0,89
80	116	1,33	1,30+K	1,28

Таблица 24

Температура (в °C)		$K = P'_n \left(\frac{V_1 T_2}{V_2 T_1} - 1 \right)$	
при закатке	при стерилизации	100 см ³ воды в банке	950 см ³ воды в банке
50	100	+0,096	-0,104
50	109	+0,096	-0,124
50	116	+0,096	-0,164
60	100	+0,07	—
60	109	+0,07	—
60	116	+0,05	—
70	100	+0,08	-0,01
70	109	+0,06	—
70	116	+0,04	-0,07
80	100	+0,06	—
80	109	+0,04	-0,01
80	116	+0,03	-0,02

Анализируя данные табл. (23 и 24), можно сделать несколько выводов.

Первый и основной вывод заключается в том, что величина K очень незначительна и колеблется в пределах 0,03—0,096 атм при малой степени наполнения и 0,01—0,164 атм при большой степени наполнения. В среднем в обоих случаях величина составляет 6%.

Таким образом, для технических расчетов величины изменения давления воздуха, как весьма незначительной, можно пренебречь, и давление в жестяной банке можно высчитывать по формуле:

$$P_c - 1 = P_n'' - P_n' \quad (IV, 10)$$

Формула (IV,10) показывает, что избыточное (манометрическое) давление в жестяной банке при стерилизации равно упругости водяных паров при стерилизации и при закатке.

Физический смысл этой формулы легко понять, если учесть, что

$$P_n' = 1 - P_v' \quad (IV, 11)$$

При подстановке этого значения P_n' , взятого из формулы (IV,1) в формулу (IV,10) получим:

$$P_c - 1 = P_n'' - 1 + P_v',$$

а значит

$$P_c = P_n'' + P_v' \quad (IV, 12)$$

Следовательно, формула (IV,10) означает, что давление в банке при стерилизации равно сумме упругости пара при температуре стерилизации и первоначального (т. е. такого, каким оно было при закатке) давления воздуха.

Итак, давление воздуха в жестяной банке в процессе стерилизации практически не изменяется, т. е. величина $P_v' \left(\frac{V_1 T_2}{V_2 T_1} - 1 \right)$, характеризующая изменение давления воздуха, равна нулю.

Чем объяснить этот факт? Проанализируем выражение $P_v' \left(\frac{V_1 T_2}{V_2 T_1} - 1 \right)$.

Оно может быть равно нулю, если $\frac{V_1 T_2}{V_2 T_1}$ равно единице. Если пред- ставить себе величину $\frac{V_1 T_2}{V_2 T_1}$ как произведение двух множителей — $\frac{V_1}{V_2}$ и $\frac{T_2}{T_1}$, то станет ясным, что величина $\frac{V_1 T_2}{V_2 T_1}$ может быть равной единице только при условии, если коэффициент $\frac{V_1}{V_2}$ меньше единицы (ибо множитель $\frac{T_2}{T_1}$ всегда больше единицы).

Следовательно, второй вывод из данных табл. 23—24 заключается в том, что отношение объема свободного пространства до стерилизации к объему при стерилизации меньше единицы; иными словами: объем свободного пространства в жестяной банке при стерилизации увеличивается. На самом деле, из табл. 23—24

видно, что величина $P_v' \left(\frac{V_1 T_2}{V_2 T_1} - 1 \right)$ не равна нулю; она либо несколько больше, либо несколько меньше нуля. Следовательно, $\frac{V_1 T_2}{V_2 T_1}$ тоже не равно единице, а либо несколько больше единицы, либо несколько меньше её. Однако ясно, что это положение не

противоречит утверждению, что $\frac{V_1}{V_2}$, как правило, меньше единицы: все дело в соотношении абсолютных значений множителей $\frac{V_1}{V_2}$ и $\frac{T_2}{T_1}$, т. е. в том, насколько правильная дробь $\frac{V_1}{V_2}$ «компенсирует» неправильную дробь $\frac{T_2}{T_1}$.

Наконец, третий вывод заключается в том, что давление в жестяной банке при стерилизации несколько больше при малой степени наполнения и несколько меньше при большей степени наполнения.

Проанализируем приведенный в табл. 23—24 экспериментальный материал. Пользуясь формулой (IV,9), можно на основании опытных данных рассчитать величину $\frac{V_1}{V_2}$.

Пример. Опыт № 2. Температура при закатке 50°C ($P_n'' = 0,126$), температура стерилизации 109°C ($P_n'' = 1,4$). Степень наполнения — 100 см³. Давление в банке по табл. 23 равно 1,37 атм.

Тогда по формуле (IV,9)

$$1,37 = 1,4 - 0,126 + 0,874 \left(\frac{382 V_1}{523 V_2} - 1 \right),$$

откуда

$$\frac{V_1}{V_2} = 0,94.$$

В табл. 25 приведены вычисленные таким образом величины $\frac{V_1}{V_2}$.

Таблица 25

Температура (в°С)		Отношение $\frac{V_1}{V_2}$	
при закатке	при стерилизации	100 см ³ воды в банке	950 см ³ воды в банке
50	100	0,960	0,760
50	109	0,940	0,726
50	116	0,925	0,676
60	100	0,973	—
60	109	0,950	—
60	116	0,910	—
70	100	1,026	0,932
70	109	0,950	—
70	116	0,935	0,790
80	100	1,060	—
80	109	0,995	0,910
80	116	0,965	0,873

Рассмотрение табл. 25 показывает, что величина $\frac{V_1}{V_2}$ не является постоянной даже для данной банки, а зависит от степени наполнения и в какой-то мере от разности температур. Чем больше наполнение и чем больше разность температур при стерили-

заци и при закатке, тем меньше для жестяной банки $\frac{V_1}{V_2}$. Конечно, нельзя говорить о разности температур безотносительно к абсолютным значениям температуры при закатке. Чем ближе температура при закатке к 100° С, тем меньше влияние оказывает разность температур на величину $\frac{V_1}{V_2}$ и, наконец, по достижении температуры 100° С стерилизуемая банка вовсе перестает вздуваться, независимо от температуры при стерилизации, так как воздуха в такой банке не будет и давление в ней будет равно давлению в автоклаве. Таким образом, говоря о влиянии разности температур на величину $\frac{V_1}{V_2}$, нужно иметь в виду некоторый определенный диапазон температур при закатке. Во всяком случае, из данных табл. 25 видно, что эта закономерность наблюдается в пределах до 80° С.

Если сделать выборку величины $\frac{V_1}{V_2}$ в этих пределах разностей температур безотносительно к абсолютным значениям температур при закатке и стерилизации и вывести средние значения, то получится следующая картина (табл. 26).

Таблица 26

Разность температур при стерилизации и закатке (в°С)	Степень наполнения	
	0,1	0,955
20	1,060	—
30	1,010	0,921
35	0,965	0,873
40	0,965	—
45	—	0,790
50	0,955	0,760
60	0,940	0,726
65	0,925	0,676

Установленная зависимость между отношением $\frac{V_1}{V_2}$ и степенью наполнения, а также разностью температур нуждается в теоретическом обосновании.

Рассмотрим, что происходит в закатанной жестяной банке при нагревании. Объем свободного пространства в банке до стерилизации

$$V_1 = V_6 - V_n, \quad (IV, 13)$$

где V_6 — объем банки;

V_n — объем продукта.

При нагревании объем банки увеличивается (в основном, вследствие вздутия концов); увеличивается также и объем продукта

$$V_2 = xV_6 - yV_n, \quad (IV, 14)$$

где x — коэффициент увеличения объема банки;

y — коэффициент увеличения объема продукта (т. е. отношение объемов при нагревании к объемам до нагревания).

V_2 — объем свободного пространства при стерилизации.

Выразим объем продукта через объем банки:

$$V_n = pV_6, \quad (IV, 15)$$

где p — степень наполнения $= \frac{V_n}{V_6}$, и подставим значения из (IV, 15) в выражения (IV, 14) и (IV, 13).

$$V_1 = V_6 - pV_6 = V_6(1 - p);$$

$$V_2 = xV_6 - ypV_6 = V_6(x - yp);$$

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{1 - p}{x - yp}. \quad (IV, 16)$$

Выражение (IV, 16) можно представить в таком виде:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{1}{x} \frac{1 - p}{1 - \frac{y}{x} p}. \quad (IV, 17)$$

Непосредственное рассмотрение этого выражения показывает лишь, что величина $\frac{V_1}{V_2}$ зависит от коэффициентов x , y и p . Вопрос же о том, какова связь между этими коэффициентами и как они влияют на величину $\frac{V_1}{V_2}$, может быть решен только при математическом анализе выражения (IV, 17).

Представим себе две банки, стерилизуемые в одинаковых условиях, но заполненные продуктом в различной степени. Обозначим степень заполнения одной банки через p , а другой — через p_1 и допустим, что $p_1 > p$. Тогда отношение $\frac{V_1}{V_2}$ в первой банке (k) составит:

$$k = \frac{1}{x} \frac{1 - p}{1 - \frac{y}{x} p}, \quad (IV, 18)$$

а отношение $\frac{V_1}{V_2}$ во второй банке (k_1) будет:

$$k_1 = \frac{1}{x} \frac{1 - p_1}{1 - \frac{y}{x} p_1}. \quad (IV, 19)$$

Из опытов (табл. 25) мы знаем, что отношение $\frac{V_1}{V_2}$ при переходе его от меньшего наполнения к большему уменьшается, следовательно, выражение (IV, 18) должно быть больше выражения (IV, 19), а значит, отношение (IV, 18) : (IV, 19) должно быть величиной большей, чем единица.

Разделим (IV,18) на (IV,19):

$$\frac{1-p}{x\left(1-\frac{y}{x}p\right)} : \frac{1-p_1}{x\left(1-\frac{y}{x}p_1\right)},$$

обозначив $\frac{y}{x}$ через y_1 , получим:

$$\frac{k}{k_1} = \frac{(1-p)(1-y_1p_1)x}{(1-p_1)(1-y_1p)x} = \frac{1-p-y_1p_1+y_1p_1p}{1-p_1-y_1p+y_1p_1p}. \quad (\text{IV,20})$$

Вычтем теперь из числителя дроби (IV,20) знаменатель этой дроби. Так как дробь (IV,20) должна быть больше единицы, то разность между числителем и знаменателем этой дроби должна быть величиной положительной.

$$d = 1-p-y_1p_1+y_1p_1p-1+y_1p+y_1p-p-y_1p_1p = y_1p-y_1p_1+y_1p_1p-p = y_1(p-p_1)-(p-p_1) = (p-p_1)(y_1-1).$$

Таким образом, разность числителя и знаменателя дроби (IV,20) составляет:

$$d = (p-p_1)\left(\frac{y}{x}-1\right). \quad (\text{IV,21})$$

Проанализируем полученное выражение. Это произведение должно быть, как указывалось выше, положительной величиной. Множитель $p-p_1$ — отрицательная величина, так как по условию $p_1 > p$. Следовательно, множитель $\frac{y}{x}-1$ тоже должен быть отрицательной величиной. А значит, $\frac{y}{x} < 1$, т. е. $x > y$.

Таким образом, на основании опытных данных и анализа выражения (IV,21) можно прийти к следующим выводам:

1. Коэффициент расширения жестяной банки при нагревании больше коэффициента расширения продукта.

2. Увеличение степени наполнения жестяной банки продуктом приводит к уменьшению давления в банке при стерилизации именно потому, что банка расширяется в большей мере, чем продукт.

Необходимо отметить, что, если бы банка расширялась в такой же мере, как и продукт, то давление в ней не зависело бы от степени наполнения. В этом случае y равнялся бы x и множитель $\frac{y}{x}-1$ выражения (IV,21) равнялся бы нулю. А так как выражение (IV,21) является функцией разностей объемов свободных пространств с разными степенями наполнений, то выходит, что объемы свободных пространств при разных степенях наполнения должны быть в данном случае равны. Поэтому и степени наполнения, если $x=y$, не влияют на давление в банке.

С другой стороны, если бы банка расширялась в меньшей мере, чем продукт, то множитель $\frac{y}{x}-1$ был бы величиной по-

ложительной, а все выражение (IV,21) — величиной отрицательной. Это означает, что в таком случае объем свободного пространства в банке с увеличением степени наполнения уменьшался бы, а значит, и давление в банке возрастало бы.

Рассмотрим теперь причины увеличения объема свободного пространства в жестяной банке при стерилизации, т. е. причины того, почему первоначальное давление воздуха в процессе стерилизации практически не изменяется.

Обратимся к выражению

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{1}{x} \frac{1-p}{1-\frac{y}{x}p}. \quad (\text{IV,17})$$

Анализируя это выражение, мы видим, что $\frac{1}{x}$ меньше единицы, так как $x > 1$. Так как $\frac{y}{x}$ меньше единицы, то знаменатель дроби $\frac{1-p}{1-\frac{y}{x}p}$ больше числителя и, значит, дробь эта меньше единицы. Отсюда и все выражение (IV,17) меньше единицы.

Заметим, что тот же результат получится и в том случае, если $y=x$ (т. е., если $\frac{y}{x}=1$); тогда дробь $\frac{1-p}{1-\frac{y}{x}p}$ равна единице, а отсюда отношение $\frac{V_1}{V_2}$ равно $\frac{1}{x}$, т. е. меньше единицы.

И только, если y больше x , то отношение $\frac{V_1}{V_2}$ больше единицы.

Таким образом, в соответствии с этим анализом объем свободного пространства в жестяной банке в указанных опытах при стерилизации увеличивался, а значит, первоначальное давление воздуха не изменялось вследствие того, что банка расширялась либо в большей, либо в такой же мере, как и продукт.

Из выражения (IV,17) видно также, что объем свободного пространства увеличивается с увеличением x . Увеличение же x должно быть связано — в определенных пределах — с разностью температур в том смысле, что холодная банка вздувается больше, чем горячая, при одной и той же температуре стерилизации, или же, что при одной и той же температуре закатки вздувается больше та банка, которая стерилизуется при более высокой температуре. Это теоретическое соображение вполне согласуется с данными табл. 26.

Приведенные выкладки представляют интерес не только как интерпретация определенного частного случая, т. е. не только как пример математической обработки экспериментального исследования одной определенной вида жестяной банки таких-то размеров и изготовленной из жести такой-то толщины. Эти выкладки устанавливают определенную взаимосвязь между x , y , p и $\frac{V_1}{V_2}$.

при разных значениях этих величин. Установление этой теоретической зависимости дает возможность предвидеть, какие технологические и технические факторы влияют на давление в банке при стерилизации, и, следовательно, предусмотреть проведение соответствующих мероприятий.

Несомненно, например, что увеличения объемов различных банок неодинаковы и что с увеличением толщины концов, или с уменьшением их диаметра x уменьшается и может стать меньше y . Поэтому с увеличением толщины концов в жестяной банке создается давление значительно больше обычного, могущее вызвать деформацию (с этой точки зрения следует, очевидно, также предпочитать широкие банки узким).

2. Давление в стеклянной банке

Для расчета давления в стеклянной банке при стерилизации воспользуемся формулой (IV,9)

$$P_c - 1 = P_n'' - P_n' + P_v' \left(\frac{V_1 T_2}{V_2 T_1} - 1 \right)$$

и посмотрим, преобладание каких факторов отражается на давлении.

Основное отличие стеклянной банки от жестяной в отношении влияния давления заключается в том, что стеклянная банка при стерилизации почти не увеличивается в объеме. Приняв те же обоснования, что и в разделе IV, 1, получим:

$$\begin{aligned} V_1 &= V_6 - V_n; \\ V_n &= p V_6; \\ V_1 &= V_6 - p V_6 = V_6 (1 - p); \\ V_2 &= V_6 - y V_n = V_6 - yp V_6 = V_6 (1 - yp); \\ \frac{V_1}{V_2} &= \frac{1 - p}{1 - yp}. \end{aligned} \quad (IV, 22)$$

Так как $y > 1$, то $yp > p$ и числитель $1 - p >$ знаменателя $1 - yp$, следовательно,

$$\frac{V_1}{V_2} > 1.$$

Таким образом, объем свободной пространства в стеклянной банке при стерилизации уменьшается. Это отражается на величине давления.

Из выражения $P_v' \left(\frac{V_1 T_2}{V_2 T_1} - 1 \right)$ формулы (IV,9) видно, что величина $\frac{V_1 T_2}{V_2 T_1}$ не может быть равна единице (как это было в случае жестяной тары), так как каждый из множителей $\frac{V_1}{V_2}$ и $\frac{T_2}{T_1}$ больше единицы. Отсюда и все выражение $P_v' \left(\frac{V_1 T_2}{V_2 T_1} - 1 \right)$ не равно нулю, как

в случае жестяной тары, и, следовательно, пренебречь им нельзя. Поэтому для расчета давления в стеклянной банке нельзя пользоваться упрощенной формулой (IV,10).

Пример. Допустим, что температура при укуорке равна 50°C , температура стерилизации — 116°C , степень наполнения — 0,94. Коэффициент расширения продукта — 1,04. Тогда числовые значения величин, фигурирующие в формуле (IV,9), будут следующие: $P_n'' = 1,8 \text{ атм}$,

$$\begin{aligned} P_n &= 0,126 \text{ атм}; \\ P_n' &= 1 - 0,126 = 0,874 \text{ атм}; \\ T_2 &= 389 \\ T_1 &= 323 = 1,2; \\ \frac{V_1}{V_2} &= \frac{1 - 0,94}{1 - 1,04 \cdot 0,94} = 2,67. \end{aligned}$$

Тогда $P_c - 1 = 1,8 - 0,126 + 0,874 (1,2 \cdot 2,67 - 1) = 1,674 + 1,92 = 3,6 \text{ атм}$.

Расчет же давления, которое должно развиться в этих условиях в жестяной банке, произведенный по формуле (IV, 10), показывает:

$$P_c - 1 = P_n'' - P_n' = 1,8 - 0,126 = 1,67 \text{ атм},$$

т. е. приблизительно в два раза меньше.

Из приведенного примера видно, что отношение $\frac{V_1}{V_2}$ может для стеклянной банки быть в несколько раз больше единицы и что величина изменения давления воздуха может оказаться преобладающим фактором в суммарном значении избыточного давления в банке.

Рассмотрим теперь, какое влияние оказывает увеличение степени наполнения на изменение отношения объемов и, значит, на давление в банке.

Приняв те же обозначения, что и в разделе IV, 1, применив тот же метод анализа, но только исходя не из формулы (IV,17), а из формулы (IV, 22), мы придем к выражению:

$$d = (p - p_1) (y - 1), \quad (IV, 23)$$

совершенно аналогичному выражению (IV,21). Здесь p и p_1 — степень наполнения, причем, по условию $p_1 > p$, а d — величина, знак которой показывает, увеличивается ли отношение $\frac{V_1}{V_2}$ при переходе от меньшей степени наполнения к большей или уменьшается.

При рассмотрении выражения (IV, 23) можно отметить, что множитель $p - p_1$ — величина отрицательная, ибо $p_1 > p$ по условию, а множитель $y - 1$ — величина положительная, так как $y > 1$. Таким образом, произведение $(p - p_1) (y - 1)$ — величина отрицательная. Но произведение $(p - p_1) (y - 1)$ представляет собой разность числителя и знаменателя дроби $\frac{k}{k_1}$, в которой числитель k обозначает отношение $\frac{V_1}{V_2}$ в банке с меньшей степенью наполнения,

а знаменатель k_1 — отношение $\frac{V_1'}{V_2}$ в банке с большей степенью наполнения. Отсюда ясно, что с увеличением степени наполнения отношение $\frac{V_1}{V_2}$ увеличивается, а значит, увеличивается и давление.

Пример: Условия — те же, что в предыдущем примере, но степень наполнения равна 0,95.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{1 - 0,95}{1 - 1,04 \cdot 0,95} = 4,2.$$

$$P_c - 1 = 1,8 - 0,126 + 0,874 (1,2 \cdot 4,2 - 1) = 1,67 + 3,5 = 5,2 \text{ атм.}$$

Таким образом, увеличение степени наполнения в стеклянной банке приводит к увеличению давления в ней при стерилизации. В жестяной же банке, как показано выше, наблюдается обратная картина. Причина в обоих случаях кроется в соотношениях между коэффициентами x и y . В жестяной банке $x > y$, в стеклянной — наоборот.

3. Меры, позволяющие уменьшить давление в консервной банке при стерилизации

а. Эксгаустирование

Слишком значительное превышение давления в консервной банке при стерилизации над давлением в стерилизационном аппарате может вызвать остаточную деформацию жестяных банок, разрыв их по продольному или закаточному шву, срыв жестяных крышек с горловины стеклянных банок и даже механический бой стеклотары.

В чем же причина превышения давления в банке над давлением в автоклаве? Если консервы стерилизуются паром, то давление в стерилизационном аппарате (P_A) равно упругости водяных паров, соответствующей температуре стерилизации (P_n)¹

$$P_A = P_n. \quad (IV, 24)$$

Давление же в консервной банке при стерилизации (P_c) превышает давление в автоклаве на величину давления воздуха.

Напомним, что абсолютное давление в жестяной банке при стерилизации, согласно формуле (IV, 12), составляет

$$P_c = P_n'' + P_v'.$$

Таким образом, в этом случае превышение давления в банке над давлением в автоклаве равно

$$P_c - P_A = P_v'. \quad (IV, 25)$$

¹ Заметим, что такое же давление должно было быть в автоклаве при стерилизации консервов в горячей воде, если бы можно было не опасаться срыва крышек и, следовательно, если бы можно было не создавать так называемого противодавления, т. е. давления, превышающего P_n .

т. е. первоначальному давлению воздуха. Что касается абсолютного давления в стеклянной банке, то его можно рассчитать, исходя из формулы (IV, 9):

$$P_c - 1 = P_n'' - P_n' + P_v' \left(\frac{V_1 T_2}{V_2 T_1} - 1 \right),$$

так как

$$P_n'' = 1 - P_v',$$

то

$$P_c - 1 = P_n'' - 1 + P_v' + P_v' \left(\frac{V_1 T_2}{V_2 T_1} - 1 \right)$$

или

$$P_c = P_n'' + P_v' + P_v' \left(\frac{V_1 T_2}{V_2 T_1} - 1 \right);$$

раскроем скобки:

$$P_c = P_n'' + P_v' + P_v' \frac{V_1 T_2}{V_2 T_1} - P_v'.$$

Окончательно

$$P_c = P_n'' + P_v' \frac{V_1 T_2}{V_2 T_1}. \quad (IV, 26)$$

Таким образом, в случае стеклянной тары превышение давления в банке над давлением в автоклаве

$$P_c - P_A = P_v' \frac{V_1 T_2}{V_2 T_1}, \quad (IV, 27)$$

т. е. равно давлению воздуха в момент стерилизации, причем в разделе IV, 2 было показано, что величина $P_v' \frac{V_1 T_2}{V_2 T_1}$ может достигать значений гораздо больших, чем P_n .

Отсюда напрашивается вывод о том, что для уменьшения давления в банке при стерилизации необходимо удалить из нее воздух, после чего только можно полностью устранить превышение давления в банке над давлением в стерилизационном аппарате.

Как известно, в консервном производстве существует технологический процесс, называемый эксгаустированием, который и представляет собой операцию удаления воздуха из банок, наполненных продуктом. Существует два метода эксгаустирования: тепловой и механический.

Тепловое эксгаустирование заключается в нагревании банок с продуктом до их герметизации. При этом в результате нагревания воздух выходит из продукта, а образовавшиеся водяные пары вытесняют его из банки.

Тепловое эксгаустирование может быть осуществлено в аппаратах, называемых эксгаустерами. В этих аппаратах банки передвигаются с помощью какого-либо транспортирующего устрой-

ства, подвергаясь на пути действию острого пара. Пройдя через эксгаустер, банки с продуктом нагреваются до 80—85°С. В свое время в промышленности были распространены горизонтальные дисковые эксгаустеры. Дисковый эксгаустер представляет собой закрытый железный прямоугольный ящик, на торцевых сторонах которого имеется входной и выходной проемы. Внутри этого аппарата расположены в шахматном порядке сцепленные друг с другом зубчатые горизонтальные диски, являющиеся транспортирующим элементом аппарата. Банки с приемной «звездой» поступают на движущиеся диски и, переходя с одного диска на другой, совершают извилистый путь, который значительно больше длины эксгаустера. В нижней части эксгаустера под дисками расположены паровые трубы. Для предупреждения потерь пара через крышку последняя снабжена водяным затвором. Пройдя эксгаустер и нагревшись, банки сходят на другую «звезду», передающую их на следующую операцию. Из-за ряда конструктивных недостатков, наличие которых приводит к разрывизванию жидкой части консерва, к недостаточному нагреву или бою стеклянной тары и т. п., эти эксгаустеры теперь в консервной промышленности не применяются.

Ввиду отсутствия эксгаустеров хорошей конструкции тепловое эксгаустирование на консервных заводах сводится к так называемой горячей расфасовке, которая заключается в подогреве всего консерва до расфасовки его в тару или же в подогреве жидкой части консерва, которой заливают твердую его часть. Подогрев всего консерва до расфасовки возможен в том случае, если этот консерв однороден по составу, например, если это такой консерв, как томат-паста, фруктовый сок или овощная икра. Если же консерв не однороден по составу, т. е. содержит плоды и сироп или овощи и рассол, тогда нагреть до расфасовки можно только жидкую часть, твердая же часть укладывается в банку вручную и должна быть поэтому при укладке холодной. При этом достаточно хорошо нагреть весь консерв нельзя. Если принять, что температура заливки 80—85°С, температура твердой части — 20°С, а соотношения между этими компонентами — соответственно 35:65, то расчет показывает, что средняя температура всего консерва будет 40—45°С.

Механическое эксгаустирование заключается в отсасывании воздуха из банки с помощью вакуумного насоса. Этот процесс осуществляется на вакуумзакаточных машинах, в камере которых, опережая процесс закатывания, создается разрежение.

Эксгаустирование может производиться не только одним из этих способов, но тем и другим способом вместе, т. е. применением вакуумзакаточной машины для предварительного подогрегов банок.

В нижеследующих разделах показано, насколько эффективной мерой снижения давления в консервной банке при стерилизации является тепловой и механический методы эксгаустирования.

6. Влияние теплового эксгаустирования на давление в жестяной банке

В разделе IV, 1 показано, от каких факторов зависит, в основном, давление в консервной банке при стерилизации. Посмотрим теперь, в какой мере эксгаустирование влияет на давление в банке и какова эффективность различных методов эксгаустирования.

Давление в жестяной банке может быть выражено упрощенной формулой (IV,10) $P_c - 1 = P_n'' - P_n'$. В этой формуле содержатся четкие указания на те факторы, которые, хотя и в скрытом виде, но непосредственно определяют давление в банке: температуры содержимого — первоначальную и конечную, функциями которых являются соответствующие упругости паров.

При рассмотрении формулы (IV,10) можно сделать следующие выводы:

1. Избыточное (сверх атмосферного) давление в жестяной банке при стерилизации равно разности упругости водяных паров при стерилизации и при закатке.

2. Чтобы уменьшить давление в жестяной банке при стерилизации, нужно стремиться к уменьшению P_n'' и к увеличению P_n' . Так как величину P_n' произвольно изменять нельзя (это величина постоянная для данного режима стерилизации), то для уменьшения давления в банке при стерилизации необходимо максимально увеличивать P_n' , т. е., другими словами, увеличивать температуру при закатке.

Теоретически максимальное значение P_n' равно 1 (для температуры продукта при закатке 100°С). При этом значении P_n' давление в банке при стерилизации будет минимальным из возможных, не превышая давление пара в автоклаве:

$$P_c - 1 = P_n'' - 1,$$

откуда

$$P_c = P_A = P_n''.$$

Попутно посмотрим, что произойдет при охлаждении стерилизованной банки. Когда банка остынет до температуры, при которой она была закатана, в ней снова установится атмосферное давление:

$$P_n'' + P_n' = 1. \quad (IV,28)$$

При дальнейшем охлаждении до комнатной температуры в банке установится давление

$$P_n''' + P_n' = P_0, \quad (IV,29)^1$$

где P_n''' — упругость водяных паров, соответствующая комнатной температуре;

P_0 — давление в банке при охлаждении ее до комнатной температуры.

¹ По аналогии с предыдущими вычислениями мы и в этом равенстве принимаем P_n' неизменной величиной.

Вычтем из уравнения (IV,28) уравнение (IV,29):

$$1 - P_0 = P'_n + P'_v - P''_n - P'_v = P'_n - P''_n.$$

Обозначив $1 - P_0$ (величину вакуума (в атм) через W , получим

$$W = P'_n - P''_n. \quad (IV,30)$$

Формула (IV,30) позволяет сделать следующие выводы:

1. Вакуум в жестяной банке при охлаждении ее до комнатной температуры равен разности упругости водяных паров при закатке и при охлаждении.

2. Чтобы увеличить вакуум в банке при охлаждении, нужно стремиться к увеличению P'_n и к уменьшению P''_n . Так как величина P''_n может изменяться (в условиях нормального хранения консервов в весьма небольших пределах), то для максимального увеличения W необходимо максимально увеличивать P'_n , иначе говоря, максимально увеличивать температуру при закатке.

Примеры: 1. Температура продукта при закатке 45°C. Стерилизация производится при 116°C. Температура при хранении на складе 17°C. Определить давление в банке при стерилизации и вакуум в ней при охлаждении. Избыточное давление в банке при стерилизации составляет по формуле (IV,10):

$$P_c - 1 = 1,8 - 0,1 = 1,7 \text{ атм.}$$

Вакуум в банке при охлаждении по формуле (IV,30):

$$W = 0,10 - 0,02 = 0,08 \text{ атм;} \\ W = 0,08 \cdot 760 \cong 60 \text{ мм рт. ст.}$$

2. Температура продукта при закатке 89°C. Остальные условия те же, как в примере 1.

Избыточное давление в банке при стерилизации:

$$P_c - 1 = 1,8 - 0,7 = 1,1 \text{ атм;} \\ \text{вакуум в банке при охлаждении:}$$

$$W = 0,7 - 0,02 = 0,68 \text{ атм;} \\ W = 0,68 \cdot 760 \cong 520 \text{ мм рт. ст.}$$

Наличие высокого вакуума в банке при хранении консервов и при их перевозке имеет, как правило, положительное значение. И только тогда, когда очень горячие продукты расфасовывают в крупную жестяную тару, например в десятикилограммовую банку № 15, высокий вакуум, образующийся при охлаждении, может вызвать сильную остаточную деформацию этих банок, уродующую их внешний вид и могущую привести к нарушению герметичности. В этом случае, как показало исследование, проведенное работниками Одесского технологического института пищевой и холодильной промышленности в творческом сотрудничестве с работниками Украинского консервного треста и Одесского консервного завода им. Ворошилова, необходимо пользоваться жестяной банкой специальной конструкции. Конструктивные изменения, вносимые в обычную банку № 15,

включаются в применении концов с выпуклым (наружу) рельефом, позволяющим концам относительно глубоко вдавливаться внутрь, и в усилении жесткости корпуса.

в. Влияние механического эксгаустирования на давление в жестяной банке

Рассмотрим явления, происходящие в банке при механическом эксгаустировании, т. е. при применении вакуумзакаточных машин.

Если обозначить величину механического вакуума, создаваемого в банке в момент закатки через W , то давление в банке будет:

$$P'_n + P'_v = 1 - W. \quad (IV,31)$$

При стерилизации давление в банке составит

$$P'_n + P'_v = P_c. \quad (IV,32)$$

Вычтем из уравнения (IV,32) уравнение (IV,31):

$$P_c - 1 + W = P'_n - P'_v; \\ P_c - 1 = P'_n - P'_v - W; \\ P_c - 1 = P''_n - (P'_n + W). \quad (IV,33)$$

Рассматривая формулу (IV,33), можно отметить следующее:

1. Избыточное давление в механически эксгаустированной жестяной банке равно разности между упругостью водяных паров при стерилизации и суммой значений упругости водяных паров при закатке и механического вакуума.

2. Чтобы уменьшить давление в банке при стерилизации, нужно стремиться к максимальному увеличению суммы $P'_n + W$ (величина P'_v произвольно не изменяется).

При обсуждении второго вывода могут возникнуть следующие вопросы: какой же предел суммы $P'_n + W$ и можно ли стремиться одновременно к увеличению P'_n и к увеличению W ?

Допустим, что механический вакуум при закатке составляет 550 мм рт. ст., а температура продукта — 81°C. Что произойдет в момент закатки? P'_n , соответствующее температуре 81°C, равно 0,5 ата. Давление в камере закаточной машины будет 760 — 550 = 210 мм, или 0,28 ата, т. е. значительно меньше упругости водяных паров над продуктом. Следовательно, в момент закатки произойдет мгновенное вскипание продукта и вследствие этого быстрое охлаждение до такой температуры, при которой упругость водяных паров не превышает давления воздуха над ними — 0,28 ата, т. е. до 68°C.

Такого положения, т. е. потери части продукта из-за вскипания и понижения его температуры, допускать нельзя. Поэтому давление водяных паров над продуктом в момент закатки не дол-

жно быть больше давления, создаваемого в камере закаточной машины, и, следовательно, между этими величинами должна существовать следующая зависимость:

$$P_n' \geq 1 - W; \quad (IV,34)$$

$$W \geq 1 - P_n'; \quad (IV,35)$$

$$P_n' + W \geq 1. \quad (IV,36)$$

Выражение (IV,36) показывает, что пределом суммы $P_n' + W$ является единица. Кроме того, ясно, что, если сумма $P_n' + W$ равна единице, то увеличение одного из этих факторов может идти только за счет уменьшения другого.

Пользуясь выведенными соотношениями, можно решать задачи следующего типа:

Пример 1. Величина механического вакуума в камере вакуумзакаточной машины 600 мм рт. ст. Какая температура продукта допустима при закатке?

По формуле (IV,34) $P_n' = 1 - 0,21 = 0,79$ *ата*. Соответствующая температура по таблицам равна 60°C.

Примечание. Понятно, что 60°C является в данном случае предельной температурой при закатке. Желательно не доводить продукт в точности до этой температуры, чтобы не допустить кипения.

Пример 2. Температура продукта при закатке 85°C. Какой величины механический вакуум можно допустить в камере закаточной машины?

По формуле (IV,35) $W = 1,0 - 0,6 = 0,4$ *ата*;

$$W = 0,4 \times 760 = 300 \text{ мм рт. ст.}$$

При условии, что сумма $P_n' + W = 1$, уравнение (IV,33) принимает вид:

$$P_c - 1 = P_n'' - 1;$$

$$P_c = P_n'' = P_A.$$

При этом достигается наиболее благоприятное положение, когда нет никакого превышения давления в банке над давлением в автоклаве. Без применения механического вакуума такой результат можно было бы получить только при условии, чтобы температура продукта при закатке составляла 100°C, что практически невыполнимо.

Таким образом, вырисовывается значение механического вакуума как величины, дополняющей тепловое эксгаустирование. Однако возникает вопрос, какая из этих величин является основной, а какая дополнительной, и нельзя ли, например, ограничиться одним лишь механическим эксгаустированием, не прибегая к специальному подогреванию продукта перед расфасовкой? Не все ли равно, какова величина P_n' , если ее всегда можно «дополнить» величиной W так, чтобы сумма $P_n' + W = 1$?

Чтобы ответить на эти вопросы, необходимо предварительно ознакомиться с рядом фактов.

1. В силу ряда причин максимальная величина механического вакуума, которая достигается в камере вакуумзакаточных машин, не превышает обычно 650 мм. Следовательно, чтобы $P_n' + W = 1$, необходимо, чтобы $P_n' = 1 - 0,85 = 0,15$ *ата*, т. е., чтобы температура продукта была около 54°C.

Между тем, как уже отмечалось выше, для большинства овощных и фруктовых консервов (кроме однородных продуктов), даже пользуясь очень горячей заливкой, не удается получить среднюю температуру продукта при закатке больше 40—45°C. Таким образом, с этой точки зрения некоторые тепловое эксгаустирование целесообразно.

2. В 1935 г. исследованиями лаборатории стеклотары Одесского консервного филиала Всесоюзного научно-исследовательского института холодильной промышленности, руководимой И. С. Каганом, было установлено, что относительно высокий вакуум, порядка 650 мм, можно применять к весьма ограниченному числу продуктов и что большинство продуктов приходится укупоривать при вакууме 250—450 мм.

При наблюдении над поведением продуктов, находящихся в разреженной атмосфере, было открыто явление, названное И. С. Каганом «вакуумным расширением». Вакуумное расширение заключается в том, что продукт, помещенный в разреженную атмосферу, увеличивается в объеме (следствие расширения воздуха, содержащегося в межклеточных ходах и раздувающего, таким образом, плоды), причем увеличение объема твердой части консерва приводит к вытеснению некоторого количества жидкой части продукта из банки.

В количественном отношении это явление характеризуется так называемым «коэффициентом вакуумного расширения», представляющим собой приращение объема плодов при вакуумизации, выраженное в процентах к первоначальному объему плодов:

$$K_{BP} = \frac{v_2 - v_1}{v_1} \cdot 100, \quad (IV,37)$$

где

v_1 — объем плодов до вакуумизации;

v_2 — объем плодов при вакуумизации;

K_{BP} — коэффициент вакуумного расширения.

Оказалось, что разные плоды и овощи неодинаково расширяются, попадая в разреженную атмосферу: одни — сильно, другие — слабее, третьи мало или вовсе не увеличиваются в объеме.

Поэтому для соблюдения нужного соотношения элементов консерва (т. е. между твердой и жидкой частью) и предупреждения потерь заливки пришлось дифференцировать величину механического вакуума в зависимости от коэффициента вакуумного расширения. Для плодов с низким K_{BP} можно применять механический вакуум порядка 600—650 мм, для продуктов же

со средним и высоким $K_{вп}$ рекомендуется механический вакуум порядка 250—450 мм.

Такое дифференцирование величины вакуума вошло впоследствии в технологические инструкции по производству консервов. Так, согласно Справочнику консервщика, рекомендуется следующая величина вакуума в камере вакуумзакаточной машины при изготовлении компотов (табл. 27).

Таблица 27

Вид сырья	Рекомендуемый вакуум при закатке (в мм рт. ст.)
Абрикосы	550
Айва	300
Груши	400
Изюм-Эрик	300
Кизил	400
Мандарины	300
Персики	300
Ревенд	300
Виноград	300
Вишни	400
Черешня	250
Слива	300
Яблоки неочищенные	550
Яблоки очищенные	400
Инжир	300

Допустим, что в среднем применяется $W = 400$ мм, т. е. 0,525 *ата*. Тогда, чтобы сумма $P'_n + W = 1$, нужно, чтобы $P''_n = 1 - 0,525 = 0,475$ *ата*, т. е., чтобы температура при закатке была около 80°C.

Отсюда ясно, что тепловое эксгаустирование не только желательно, но и необходимо уже по одному тому, что величина механического вакуума ограничена свойствами продукта.

3. Есть еще одно важное обстоятельство, значительно уменьшающее значение механического эксгаустирования. В том же исследовании, на которое мы ссылались выше, отмечено одно интересное явление, заключающееся в том, что величина вакуума в банках, укуренных под механическим разрежением, оказывается через 20—30 мин. после укупорки меньше своего первоначального значения.

Это явление объясняется тем, что воздух не успевает выйти из межклеточных ходов за тот короткий период времени, в течение которого производится эксгаустирование, и выходит уже после того, как банка герметизирована, увеличивая давление в банке и как бы «поглощая» вакуум. Бывает, что вакуум к началу стерилизации совершенно исчезает.

Это явление характеризуется с количественной стороны так называемым коэффициентом вакуумного поглощения $K_{вп}$, величина которого для разных плодов неодинакова:

$$K_{вп} = \frac{W_K}{W_H}, \quad (IV, 39)$$

где

$K_{вп}$ — коэффициент вакуумного поглощения.

W_K — вакуум в банке через 30 минут после вакуумизации.

W_H — вакуум в банке в момент закатки.

Для многих продуктов коэффициент вакуумного поглощения составляет 0,4—0,6.

Таким образом, с учетом этого коэффициента, получается, что в среднем при помощи механического эксгаустирования можно создать вакуум в банке к моменту стерилизации фактически в пределах 150—200 мм. Если произвести соответствующий расчет, то получится, что для соблюдения минимального превышения давления в банке над давлением в автоклаве необходима температура около 90°C. Отсюда, значение теплового эксгаустирования возрастает еще больше.

Все эти соображения приводят к выводу о том, что в общем комплексе мероприятий, направленных на уменьшение давления в банке, основным является тепловое эксгаустирование, а не механическое, и это последнее может служить только в качестве «дополнения» к первому.

Посмотрим теперь, какое будет давление в механически эксгаустированной жестяной банке после охлаждения.

Исходя из соображений, изложенных в разделе IV, 3б, и пользуясь теми же обозначениями, получаем:

$$P'_n + P_b = 1 - W; \quad (IV, 40)$$

$$P''_n + P_b = P_0. \quad (IV, 41)$$

Обозначив $1 - P_0$ (вакуум в банке при охлаждении) через W_1 , получим при вычитании (IV, 41) из (IV, 40):

$$W_1 - W = P'_n - P''_n;$$

$$W_1 = [P'_n + W] - P''_n. \quad (IV, 42)$$

Из формулы (IV, 42) видно, что вакуум в жестяной банке, прошедшей механическое эксгаустирование, равен разности величины $P'_n + W$ и P''_n . И чем больше сумма $P'_n + W$, тем больше конечный вакуум. Пределом суммы $P'_n + W$ является, как указывалось, единица.

г. Влияние теплового эксгаустирования на давление в стеклянной банке

Ранее было показано, что для стеклянной тары, при большой степени наполнения, изменение давления воздуха может оказаться преобладающим фактором в суммарном значении избыточного

давления в банке, тогда как для жестяной тары этот фактор почти не имеет значения.

Однако, если максимально увеличить температуру продукта при закатке и, таким образом, увеличить P'_n , то соответственно уменьшится и P'_v , так как $P'_v = 1 - P'_n$. При $P'_n = 1$, $P'_v = 0$ все

выражение $P'_v \left(\frac{V_1 T_2}{V_2 T_1} - 1 \right)$ также равно нулю, и давление в стеклянной банке в этих условиях будет не выше, чем в жестяной, причем превышение давления в банке над давлением в автоклаве не будет никакого. В этих условиях справедливо идеальное равенство $P_c = P'_n = P_A$. Из этого видно, какое большое значение при использовании стеклянной тары может иметь тепловое эксгаустирование.

д. Влияние механического эксгаустирования на давление в стеклянной банке

Давление в стеклянной банке, укупоренной под разрежением *W ata*, можно вычислить по формуле:

$$P_c - 1 = P'_n - (P'_n + W) + P'_v \left(\frac{V_1 T_2}{V_2 T_1} - 1 \right). \quad (\text{IV}, 43)$$

При условии, если $P'_n + W = 1$, член $P'_v \left(\frac{V_1 T_2}{V_2 T_1} - 1 \right) = 0$, так как $P'_v = 1 - (P'_n + W)$.

Однако в действительности сумма $P'_n + W$ значительно меньше единицы. Как мы уже указывали, P'_n для большинства консервов составляет 0,1 *ata*. Если принять, что величина вакуума при закатке составляет (с учетом K_{BP}) в среднем 400 мм и что величина коэффициента вакуумного поглощения равна 0,5, то истинный *W* будет 200 мм, т. е. 0,26 *ata*. Таким образом, $P'_n + W = 0,1 + 0,26 = 0,36$ *ata*.

Подставив эти значения в формулу (IV, 43) для приблизительного расчета величины избыточного давления в стеклянной банке, стерилизуемой при 116°C (см. пример в разделе IV, 2), получим:

$$P_c - 1 = 1,8 - 0,36 + 0,64 (1,2 \cdot 2,67 - 1) = 1,44 + 1,45 = 2,89 \text{ } \mu\text{m}.$$

Сравнивая полученный результат с данными из примера в разделе IV, 2 ($P_c - 1 = 3,6$ *atm*), можно сказать, что фактически механическое эксгаустирование не может предохранить от возникновения высокого давления в стеклянных банках при стерилизации. Только тепловое эксгаустирование можно добиться максимального увеличения $P'_n + W$ и, значит, уменьшения давления в банке.

е. Применение устойчивых крышек

Итак, источником возникновения высокого давления в жестяной, а особенно, в стеклянной банке при стерилизации является содержащийся в банке воздух.

Исходя из того, что удаление воздуха из консервной банки до ее герметизации представляет большие трудности, канд. тех. наук. Г. Е. Молдавский разработал способ, позволяющий удалять воздух из уже закатанной стеклянной банки *во время стерилизации*. Этот способ требует применения особой крышки с отверстием, через которое во время нагревания закатанной банки выходит воздух.

Эта крышка, названная Г. Е. Молдавским «устойчивой» крышкой и которая известна среди консервщиков под названием «крышки Молдавского», представляет собой обычную крышку СКО; по краю которой сделаны сквозные насечки — щели (рис. 61). Поле венчика крышки с насечками при стерилизации и возникновении давления в банке отжимается вверх, отставая от верхнего края резинового кольца. При этом воздух получает возможность выйти через эти щели наружу. Поэтому при стерилизации укупоренных такими крышками банок в воде на поле венчика крышки видны выделяющиеся пузырьки газа. Поскольку воздух имеет, таким образом, возможность выходить из банки, давление в ней увеличивается незначительно и крышка почти не вздувается.

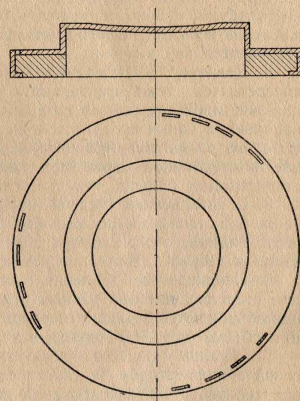


Рис. 61. Крышка СКО инженера Молдавского.

При охлаждении же поле крышки с насечками садится на свое место, снова плотно прилегая к резиновому кольцу, герметизируя банку и играя, таким образом, роль обратного клапана.

Применение «устойчивых» крышек позволяет производить стерилизацию стеклянных банок без противодействия и, таким образом, значительно упростить режим стерилизации консервов в стеклянной таре.

«Крышки Молдавского» пока что нашли применение только в практике домашнего консервирования, значительно облегчив процедуру стерилизации и дав возможность обойтись без специальных зажимов, необходимых для обычных крышек. В то же время этот способ еще не является технически разработанным в такой мере, чтобы его можно было внедрить в производственной практике. Но, во всяком случае, вполне возможно, что со временем способ

эксаугстирования закатанных банок во время стерилизации (то ли с помощью «устойчивых крышек», то ли с помощью особых банок) будет использован и в заводской практике.

Кратко вопрос о давлении в консервной банке при стерилизации и о мерах по его снижению можно изложить следующим образом:

1. Давление в жестяной банке при стерилизации определяется, главным образом, суммой упругости водяных паров над продуктом при температуре стерилизации и парциальным давлением воздуха в момент закатки. Другие факторы: тепловое расширение воздуха, степень наполнения банки продуктом (иначе говоря, изменение первоначального давления воздуха) весьма незначительно отражаются на давлении.

2. Давление в стеклянной банке при стерилизации также определяется теми факторами, которые являются основными для жестяной тары, но в еще большей мере зависит от степени наполнения банки продуктом и от теплового расширения воздуха (т. е. от изменения первоначального давления воздуха). Давление в стеклянной банке при равных условиях расфасовки и стерилизации больше, чем в жестяной.

3. С увеличением степени наполнения давление в жестяной банке при стерилизации уменьшается, а в стеклянной — увеличивается. Влияние этого фактора очень незначительно для жестяных банок и весьма значительно для стеклянных.

4. Неодинаковые давления в жестяных и стеклянных банках при стерилизации при равных условиях расфасовки и стерилизации объясняются разными соотношениями коэффициентов увеличения объема тары и продукта в этих банках.

5. Анализ процесса эксгаугстирования и сравнение между собой обоих методов эксгаугстирования убеждает в преимуществах теплового эксгаугстирования перед механическим.

Глава V

РЕЖИМЫ СТЕРИЛИЗАЦИИ

1. Методика установления режима стерилизации

Итак, установить режим стерилизации какого-либо консерва — это значит определить нужную температуру стерилизации и необходимое время стерилизации.

Выбор температуры стерилизации, как отмечалось в главе I, зависит от кислотности консерва.

Время же стерилизации (см. главы II и III) является функцией продолжительности прогрева центра банки и времени, необходимого для уничтожения в центре банки наиболее устойчивых спор, характерных для данного консерва.

В разделе II, 1а было указано, что температура стерилизации и смертельное время являются взаимосвязанными величинами, которые для определенных консервов могут быть раз навсегда определены. Поэтому, если речь идет об известном консерве, который предполагается расфасовывать в новый вид тары, то для установления режима стерилизации необходимо получить характеристику прогреваемости консерва, т. е. величину f_h или же всю кривую прогрева применительно к ориентировочному, наперед заданному режиму стерилизации.

Если в распоряжении исследователя нет никаких данных, позволяющих рассчитать (см. разд. III, 4б) f_h или координаты точек кривой прогрева, то характеристику прогреваемости консерва придется определять экспериментально.

Опытное определение прогреваемости консервов производится либо с помощью термометра, погружаемого в испытываемую банку так, чтобы ртутный шарик оказался в центре банки, либо с помощью термопары.

Схема измерения температуры в центре банки при помощи термометра изображена на рис. 62. В лабораторном автоклаве в центре крышки устанавливается длинная трубка с помещенным в ней термометром. К концу этой крышки припаивается испытываемая банка таким образом, чтобы шарик ртути в трубке попал

в центр банки. Для укрепления трубки на банке в крышке банки проделывается небольшое отверстие, к которому припаяется нижний конец трубки. Далее крышка автоклава герметически закрывается, в него пускается пар, и температура в центре банки наблюдается через определенные промежутки времени по термометру.

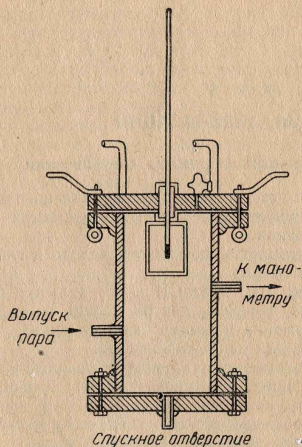


Рис. 62. Схема измерения температуры в банке с помощью термометра.

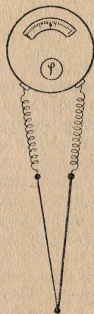


Рис. 63. Термопара.

Наиболее совершенным методом измерения температуры в центре банки является термоэлектрический метод. Для этого измерения используются термопарой, представляющей собой два спаянных (или сваренных) провода из разных металлов, например, из меди и константана, из нихрома и никелина и т. п. Провода спаиваются только на одном конце, а другие концы остаются свободными.

Если место спая нагреть, то между двумя спаянными металлами возникает разность потенциалов, пропорциональная разности температур между спаянными и свободными концами проводов. Подключая свободные концы к гальванометру, мы получаем возможность измерять эту электродвижущую силу (рис. 63).

Перед тем как пользоваться термопарой для измерения, необходимо гальванометр проградуировать, установив «цену» деле-

ния на его шкале в градусах. Для этого спай термопары при-
вязывают к ртутному шарiku термометра и опускают в воду, глицерин или масло. Затем нагревают среду и записывают показания термометра и гальванометра. Нагревать среду нужно медленно, так, чтобы успевать записывать показания гальванометра через каждый градус. Таких градуировочных испытаний нужно сделать не менее трех, а затем выводятся средние данные и составляется таблица или график, которыми пользуются при последующих измерениях температур.

Как уже было отмечено, возникающая в цепи термопары электродвижущая сила пропорциональна разности температур между местом спая проводов и их свободными концами. Место спая находится в нагреваемой среде, свободные концы прикрепляются к гальванометру и имеют температуру окружающего воздуха. Таким образом,

$$E = K(t_1 - t_0), \quad (V.1)$$

где

- E — ЭДС термопары;
- K — коэффициент пропорциональности;
- t_1 — температура спая;
- t_0 — температура свободных концов (температура воздуха).

Для того, чтобы иметь возможность точно измерять температуру нагреваемой среды, пользуясь показаниями гальванометра, необходимо, как это вытекает из формулы (V. 1), чтобы изменения величины ЭДС при измерении зависели только от изменения температуры места спая; свободные же концы термопары должны всегда иметь постоянную температуру. Температура же свободных концов, т. е. окружающего воздуха, может изменяться. Поэтому, если, например, градуировка термопары проводилась в помещении, температура которого была 10°C, а измерения температур в центре банки при прогреве проводятся при температуре воздуха 30°C, то измеряемую ЭДС нельзя будет сопоставлять с разработанной ранее шкалой, ибо изменению подверглась не только t_1 , но и t_0 . В том случае, если t_0 составляет очень незначительную часть t_1 (например, при измерении температур в горячих печах, где t_1 порядка 800—1000°C, а t_0 равно 10—30°C), получаемая погрешность тоже очень невелика. Но при определении кривых прогрева t_0 составляет значительную часть t_1 , поэтому таким способом измерять температуры в центре банки нельзя. Поэтому обычно поступают так: изготавливают две термопары, причем два свободных одноименных конца их соединяют между собой, а два других свободных конца подключают к гальванометру. Измеряемая таким образом ЭДС будет зависеть от разности температур между местами спая двух термопар, что видно из следующего расчета:

ЭДС одного из концов (скажем, левого) будет:

$$E_1 = K(t_1 - t_0). \quad (V.2)$$

ЭДС второго спая составит:

$$E_2 = K (t_n - t_b), \quad (V,3)$$

где t_n — температура второго спая.

Так как термопары включены навстречу друг другу, то результирующая ЭДС будет равна разности их ЭДС:

$$E = E_1 - E_2 = K (t_1 - t_b) - K (t_n - t_b) = K (t_1 - t_n). \\ E = K (t_1 - t_n). \quad (V,4)$$

Один из этих спаев, называемый «горячим», помещают в измеряемую среду, а другой, называемый «холодным», — в сосуд с

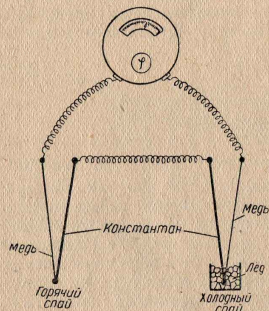


Рис. 64. Схема измерения температуры в центре банки с помощью термопары.

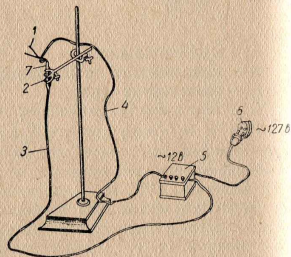


Рис. 65. Техника изготовления лабораторных термопар.

тающим льдом. Таким образом, температура этого второго спая будет всегда постоянной и, следовательно, изменения ЭДС при нагревании будут зависеть только от изменения температуры среды (рис. 64). Если нет возможности достать лед, тогда можно второй конец держать в слабокипящей воде или же в сосуде Дюара с водой, имеющей любую, но постоянную температуру.

Провода термопары, которые находятся в автоклаве, для изолирования их от греющей среды и предохранения от механических повреждений должны быть помещены в защитный кожух, например в толстую резиновую трубку.

Для спаивания концов термопары в лабораторных условиях удобно пользоваться вольтовой дугой (рис. 65). Сваривание концов производится следующим образом: провода (3) и (4) подключаются к трансформатору (5), понижающему напряжение в сети (6) до 12 вольт.

Провод (3) прикрепляется к стержню (держателю) цилиндрического угольного электрода от батарейки карманного фонаря. Угольный электрод вставляется для изоляции в резиновую трубку (2).

К другому проводу (4) прикрепляется так, как показано на рис. 64, свариваемый конец термопары (1) (два скрученных провода из разных металлов). Для облегчения сварки на конец термопары наплавляется шарик буры.

Далее, взяв провод (4) в правую руку, прикасаются на долю секунды к торцу уголька. Появляется искра, имеющая высокую температуру. Так делают несколько раз, пока не произойдет сварка.

Полученные тем или иным методом данные служат для построения кривых проникновения тепла в центр банки.

Итак, имея кривые прогрева, можно для известного консерва, расфасованного в новый вид тары, установить режим стерилизации. Если же появляется новый вид консерва, то необходимо исследовать его химический состав и выбрать, на основании этого исследования, две-три подходящие температуры стерилизации. Затем находят характерную для этого консерва микрофлору и определяют данные для построения кривой смертельного времени. Наконец, определяют кривые распространения тепла внутри банки с таким консервом. Далее, пользуясь полученными данными и задаваясь желаемым F -эффектом, рассчитывают необходимую продолжительность стерилизации.

Наметив, таким образом, несколько режимов, проверяют их, произведя опытные стерилизации и проверяя качество стерилизованных консервов органолептическим и бактериологическим путем. Кроме того, испытывают стойкость консервов при хранении их в термостате при 37°С. Органолептическая оценка консерва, товарные качества его имеют первостепенное значение. Поэтому при окончательном выборе режима стерилизации нельзя ориентироваться только на положительные результаты бактериологического анализа. Только лишь при сочетании положительных результатов, которые дали органолептическая оценка, бактериологический анализ и термостатная выдержка, данный режим считается приемлемым и может быть применен в производстве.

Окончательным выражением выбранного режима стерилизации является так называемая «формула стерилизации», представляющая собой схематическую запись основных параметров процесса стерилизации. В общем виде формула стерилизации имеет вид

$$\frac{A - B - C}{t^2} \quad (V,5)$$

Над чертой записывают числовые значения продолжительности отдельных этапов стерилизации, под чертой — температуру стерилизации.

A — время, в течение которого температура греющей среды в стерилизационном аппарате повышается от начальной до темпе-

ратуры стерилизации t° . При стерилизации паром это время обычно называют «временем подъема пара», при стерилизации горячей водой — «временем подогрева».

B — время, в течение которого температура в стерилизационном аппарате держится постоянной. Этот этап процесса принято называть «собственно стерилизацией».

C — время, в течение которого температура греющей среды в аппарате понижается от температуры стерилизации до той температуры, при которой стерилизованные банки разрешается выгружать из аппарата. При стерилизации консервов паром этот этап принято называть спуском пара, при стерилизации горячей водой — охлаждением.

t° — температура стерилизации.

Значения A , B , C даны в минутах.

Например, формула стерилизации для компотов, расфасованных в жестяные банки, может иметь такой вид:

$$\frac{15 - 40 - 15}{100^\circ}$$

Это значит, что процесс ведется таким образом: температура воды в автоклаве поднимается от начальной до 100°C в течение 15 мин.; затем в течение 40 мин. банки стерилизуются при 100°C , после чего вода в аппарате охлаждается (примерно до $40-50^\circ\text{C}$) в течение 15 мин.

Необходимо иметь в виду, что указанные этапы стерилизации, которые фигурируют в «формуле», относятся к *греющей среде стерилизационного аппарата, а не к содержимому банок*. Следовательно, сумма этапов, указанных над чертой, не равна продолжительности стерилизации, вычисленной по формуле $(II,46) B = \int_{t_0}^{t_1} \log \frac{t}{g}$, а только лишь охватывает B . Как правило, сумма этих этапов больше B , ибо в период B входят только те температуры, которые являются смертельными для данных микроорганизмов (например, для спор *Cl. botulinum* начиная с 95°C), а сумма этапов формулы стерилизации охватывает все температуры — детальные и нелетальные.

Таким образом, и в целом, и по отдельным этапам кривая прогрева смещена относительно кривой распространения тепла в стерилизационном аппарате. Так, в период подъема пара в автоклаве, к концу которого температура греющей среды достигает температуры стерилизации, температура содержимого поднимается, но далеко еще отстает от температуры стерилизации. В период собственно стерилизации, когда температура греющей среды в аппарате остается постоянной, подъем температуры содержимого банки все еще продолжается и достигает своего максимума после того, как этот максимум достигнут в аппарате. Наконец, в период охлаждения (спуска пара) температура греющей среды в аппарате сразу понижается, в то время как температура в центре банки

еще держится некоторое время на уровне своего максимального значения и лишь потом начинает падать.

В заключение этого раздела приведем пример методики установления режима стерилизации с определенным, наперед заданным F -эффектом.

Допустим, что требуется проанализировать «формулу» стерилизации консерва «зеленый горошек» в стеклянной банке № 83-1

$\frac{25 - 40 - 25}{116^\circ\text{C}}$ и внести в нее необходимые коррективы.

Таблица 28

Время от начала прогрева (в мин.)	Температура в центре банки (в $^\circ\text{C}$)	Температура автоклава (в $^\circ\text{C}$)
0	48	74
5	60	84
10	72	94
15	81	99
20	93	110
25	103	116
30	107	116
35	111	116
40	114	116
45	115	116
50	116	116
55	116	116
60	116	116
65	116	116
70	115	95
75	111	76
80	94	62
85	62	50

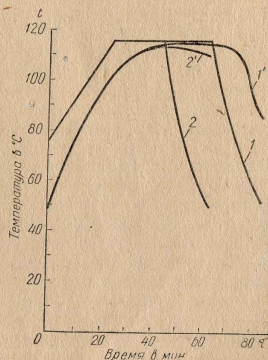


Рис. 66. Прогреваемость консерва «зеленый горошек» при разных режимах стерилизации (к нахождению «формулы» стерилизации).

Прежде всего экспериментально выясняем прогреваемость этого консерва применительно к данной «формуле». Получаем термограмму (рис. 66). По этой кривой ($1'$) находим температуру в центре банки через каждые 5 мин. от начала прогрева (табл. 28).

Далее, следуя процедуре, описанной в разделе III, 4ж, находим по табл. 17 соответствующие значения перевого коэффициента K_F (табл. 29), обращая внимание на температуры не ниже 93°C . Отсюда F -эффект, согласно формуле (III,34), будет

$$2,18 \times 5 = 10,9,$$

и, следовательно, в данном режиме стерилизации скрыт четырехкратный запас ($10,9 : 2,45 = 4$).

Допустим теперь, что требуется уменьшить резерв, скрытый в данном режиме, в два раза и получить, таким образом, новую «формулу» стерилизации с F -эффектом, равным 5.

Такое уменьшение делается графически, для чего прежде всего нужно построить кривую F -эффекта для исходного режима $\frac{25-40-25}{116^{\circ}\text{C}}$ (рис. 67, кривая 1).

Построив кривую, уменьшают ее более или менее произвольно, чтобы площадь, ограниченная новой кривой F -эффекта,

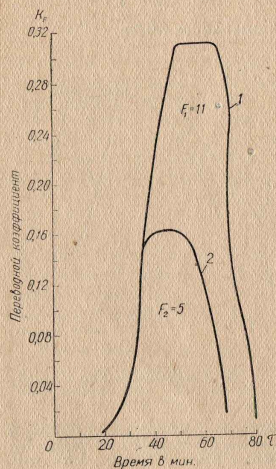


Рис. 67. F -эффект разных режимов стерилизации консерва «зеленый горошек» (к нахождению «формулы» стерилизации).

образом, чтобы левая ветвь этой кривой лежала на левой ветви исходной, а правая должна быть проведена параллельно правой ветви исходной кривой.

На рис. 67 показана такая новая F -кривая, имеющая F -эффект, равный 5 (двукратный запас), в сопоставлении с исходной кривой (кривая 2).

Подогнав двумя-тремя попытками новую площадь к желаемой, строят теоретическую кривую прогрева центра банки, соответствующую новой F -кривой. Эта кривая строится на исходном графике прогреваемости (рис. 66, кривая 2').

Построение новой кривой прогрева центра банки производится по точкам, т. е. отмечают и записывают на этой новой F -кривой

Таблица 29

Температура в центре банки (в $^{\circ}\text{C}$)	K_F
93	0,0016
103	0,0155
107	0,039
111	0,098
114	0,195
115	0,246
116	0,309
116	0,309
116	0,309
116	0,309
115	0,246
111	0,098
94	0,002
Итого . . .	2,18

была соответственно меньше площади, ограниченной исходной F -кривой 1. Нахождение уменьшенных площадей, ограниченных новыми F -кривыми, делается ориентировочно по подсчету количества клеток на миллиметровой бумаге. При этом новая F -кривая должна лежать внутри исходной таким

числовые значения переводного коэффициента K_F через каждые, например, 5 мин. от начала прогрева. Затем, пользуясь таблицей переводных коэффициентов (17), находят соответствующие значения температур. Получается таблица теоретической прогреваемости ($t^{\circ} - \tau_{пр}$) для новой кривой. По этой таблице и строят на рис. 66 новую кривую прогрева центра банки, соответствующую новому, заранее заданному и уменьшенному F -эффекту.

На рис. 66 показана новая кривая прогреваемости центра банки, соответствующая F -кривой 2 на рис. 67.

Далее замечают время «обгона» исходной кривой прогрева центра банки относительно новой кривой прогрева. Под временем «обгона» понимают разницу между моментами начала понижения исходной кривой и новой кривой. (Это же время «обгона» можно отметить и на кривых F -эффекта из рис. 67).

В данном примере это время «обгона» (разрыва между крайними точками кривых) составляет 20 мин., т. е. охлаждение кривой 2' начинается на 20 мин. раньше охлаждения исходной кривой 1'. Допуская, что время «обгона» кривых прогреваемости центра банки в равной мере относится к кривым прогреваемости автоклава, мы, вычитая это время «обгона» от момента окончания периода собственно стерилизации, находим момент начала охлаждения для новой кривой прогреваемости автоклава. Оставляя же периоды подогрева и охлаждения неизменными (т. е. такими же, как в исходной кривой прогрева автоклава), мы, таким образом, получаем новую кривую прогрева автоклава, т. е., иными словами, получаем новую «формулу» стерилизации.

Построение новых кривых прогрева автоклава производится так, чтобы левая ветвь новой кривой точно ложилась на левую ветвь исходной кривой (1). Линия собственно стерилизации новой кривой тоже накладывается на линию собственно стерилизации исходной кривой, но является она раньше исходной и, следовательно, правая ветвь понижается до правой ветки исходной кривой прогрева автоклава и идет параллельно ей.

На рис. 66 новая кривая подогреваемости автоклава имеет соответственно номер 2.

Итак, в нашем примере мы нашли новую, научно обоснованную «формулу» стерилизации с наперед заданным F -эффектом $\frac{25-20-25}{116^{\circ}\text{C}}$.

Полученную расчетным путем «формулу» стерилизации нужно экспериментально проверить, т. е. провести в соответствии с этой «формулой» опытную стерилизацию и определение истинного F -эффекта. Если расчет был произведен правильно, то совпадение между расчетным и истинным F -эффектом нового режима стерилизации получается хорошее. При большем расхождении «формулы» стерилизации приходится экспериментально уточнять, «подгоняя» получаемый F -эффект к заданному.

Как уже отмечалось выше, найденные таким способом расчетные «формулы» стерилизации с определенным, наперед заданным F -эффектом могут быть рекомендованы промышленности только после микробиологической проверки в лабораторных и производственных условиях.

2. Техника стерилизации консервов

а. Аппаратура для стерилизации

В зависимости от того, при какой температуре проводится стерилизация, какое создается в банке давление и какая именно консервная тара применяется, консервы стерилизуют либо в

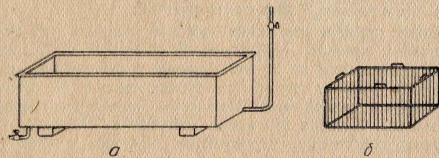


Рис. 68. Стерилизационные ванны.

открытых аппаратах под атмосферным давлением, либо в закрытых аппаратах с применением избыточного давления.

Жестяные банки и стеклянные узкогорлые бутылки СКК (в последние годы в консервной промышленности СССР почти вышли из употребления), содержащие консервы, температура стерилизации которых не должна превышать 100°C , стерилизуются в открытых аппаратах, в качестве которых могут применяться ванны очень простого устройства (рис. 68).

Ванны имеют прямоугольную форму, изготовляются из дерева или железа. На дне ванны находится барботер для подачи пара. К верхней части ванны подведена водопроводная труба, а ко дну — сливная.

Стеклянные банки СКО, стерилизуемые при любых температурах, а также жестяные банки, содержащие консервы, которые требуются стерилизовать при температуре выше 100°C , стерилизуют в закрытых аппаратах, называемых автоклавами (эти аппараты можно использовать и для открытой стерилизации вместо ванны).

Наиболее распространенные в практике консервной промышленности Советского Союза автоклавы представляют собой вертикальный цилиндрический железный котел со сферическим днищем и крышкой (рис. 69). Верхняя часть автоклава снабжена железным или чугунным поясом, соединенным с корпусом автоклава заклепками или сваркой. В верхней части пояс имеет круговую канавку, куда плотно укладывается промасленная или графитная

набивка, служащая для герметизации автоклава при закрывании крышки. На боковой поверхности пояса на шарнирах укреплены откидные болты с «барашками».

Крышка автоклава снабжена противовесом для облегчения ее подъема и имеет прорези, куда при закрывании автоклава закладывают откидные болты. Нижний край крышки загнут и при закрывании крышки входит в круговую канавку верхнего пояса, упираясь в набивку. С помощью болтов с барашками крышка плотно прижимается к набивке и герметично закрывает автоклав. На крышке автоклава имеется продувочный кранчик, который служит для выпуска воздуха и пара из верхней части автоклава.

На корпусе автоклава устанавливается предохранительный клапан рычажного типа для выпуска излишнего давления из автоклава в том случае, когда давление в нем превышает норму. После регулировки предохранительного клапана на допустимое давление закрепляют наглухо груз, надевают на клапан кожух и пломбируют его.

На корпусе же автоклава укреплена железная камера для установки термометра и манометра. Внутри камеры помещается медная гильза, в которую наливается масло для равномерной передачи тепла от стенки камеры к термометру. Камера соединена циркуляционной трубой с нижней частью автоклава. Такое устройство камеры обеспечивает приток в нее воды из разных мест автоклава и, следовательно, отражение термометром средней температуры воды в аппарате. Нужно отметить, что чем ближе установлена камера к верхней части автоклава, тем лучше циркулирует вода и тем ближе показания термометра к средней температуре воды в автоклаве.

Внутри автоклава, в нижней его части, имеется железная крестовина или круг (кронштейны), на которые ставят сетки с банками. Ниже крестовины установлен барботер для подачи пара или сжатого воздуха. Отверстия в барботере делают сбоку, а не сверху или снизу, так как при боковом их расположении нижний ряд банок не находится под угрозой термического боя, как это бывает при верхнем расположении, и отсутствуют потери теплового напора, как это наблюдается при нижнем расположении.

Пар и воздух подаются снизу автоклава, удаление воды может производиться и сверху и снизу, подача воды для охлаждения — только сверху. Между автоклавом и вентилями устанавли-

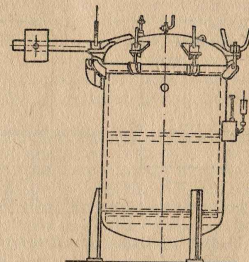


Рис. 69. Автоклав.

вают обратные клапаны. Они пропускают пар или воду в одну сторону — от вентиля к автоклаву.

Подлежащие стерилизации банки укладывают в цилиндрические дырчатые железные корзины, называемые, иначе, автоклавными сетками. В настоящее время в Советском Союзе автоклавы изготовляют на две или четыре сетки, хотя на заводах можно встретить изготовившиеся ранее одно- и трехсеточные автоклавы (кроме того, иногда на самих консервных заводах производят «наращивание» фабричных двухсеточных автоклавов, увеличивая их емкость до трех сеток). Устройство всех этих автоклавов одинаковое; отличаются они друг от друга

только высотой и рабочей емкостью. Загрузка иц разгрузка автоклавов производится с помощью электрических (или ручных) талей или кранов.

Односеточные автоклавы невысоки (1,2 м) и устанавливаются обычно прямо на полу автоклавного отделения или, же на небольшом деревянном помосте. При этом, однако, монтаж и ремонт трубопроводов в нижней части автоклавов неудобен.

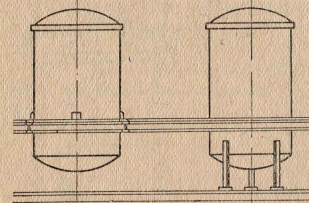


Рис. 70. Схема установки автоклава.

Двух- и более сеточные автоклавы устанавливают в вырытых в полу автоклавного отделения бетонированных ямах—шахтах. Автоклавы устанавливаются на лапах, укрепленных либо на корпусе автоклава, либо на дне шахты. Если лапы укреплены на дне, то автоклав устанавливается на дне шахты, если лапы приварены к корпусу, то автоклав подвешивают в шахте к перелету из балок, сваренных с лапами и заделанных своими концами в стенке шахты (рис. 70). При монтаже автоклава в шахте верхняя часть его возвышается над уровнем пола на 0,8—1,0 м.

Описанные выше стерилизационные ванны и автоклавы являются аппаратами периодического действия. Эти аппараты имеют наибольшее распространение в промышленности вследствие, главным образом, простоты устройства и надежности в работе.

Гораздо меньшее применение в промышленности нашли непрерывно действующие стерилизаторы, хотя положительные стороны их вполне очевидны. Такие аппараты облегчают и упрощают работу обслуживающего персонала, дают возможность установить поточный и непрерывный процесс производства, сокращают время стерилизации за счет улучшения условий теплообмена, позволяют уменьшить расходы пара и воды, обеспечивают постоянный режим стерилизации по времени и температуре и дают возможность лучше сохранить пищевую ценность консерва.

Имеется несколько причин, по которым эти аппараты пока еще недостаточно распространены. Одни из непрерывно действующих стерилизаторов сложны по конструкции и позволяют стерилизовать банки только одного размера, в других можно стерилизовать банки только из одного какого-либо материала (главным образом — из жести), в третьих отсутствует ступенчатый подогрев и охлаждение, четвертые — громоздки, и условия теплообмена в них не отличаются от таковых в периодически действующих аппаратах, пятые — дороги, имеют очень сложную кинематику и требуют строгой синхронности при передаче движения, шестые позволяют производить только открытую стерилизацию, а не под давлением и т. д. Таким образом, до настоящего времени не имеется еще вполне совершенной конструкции универсального непрерывно действующего стерилизатора, которая бы позволила вытеснить периодически действующие автоклавы.

Наибольшее распространение в промышленности получили три типа непрерывно действующих стерилизаторов: роторные, конвейерные и гидростатические.

Роторные установки состоят из стерилизатора и охладителя, соединенных в один агрегат и синхронно работающих от общего привода. В установках открытого типа стерилизация производится с помощью горячей воды, в установках, работающих под давлением, греющей средой является пар. Как в открытых, так и в закрытых установках банки автоматически поступают на вращающийся ротор стерилизатора и проходят по спиральной направляющей через корпус аппарата (наполненный водой, нагреваемой паром, или наполненный одним паром); затем они автоматически переходят в охладитель и после охлаждения выгружаются из стерилизатора. В закрытых установках банки входят в корпус стерилизатора через клапан, который предотвращает снижение давления пара в нем. При прохождении по верхней части ротора банки совершают два движения: вращательное *вокруг* оси ротора и поступательное *вдоль* его оси, что осуществляется при помощи спирали. В нижней части стерилизатора банки катятся по внутренней части корпуса и совершают три движения: вращательное *вокруг* собственной оси, вращательное *вокруг* оси ротора и поступательное *вдоль* его оси. При вращении банки *вокруг* собственной оси содержащее ее интенсивно перемешивается. При переходе банок из стерилизатора в охладитель и из охладителя наружу применяются такие же клапаны, как и при загрузке аппарата. Эти клапаны представляют собой роторы, имеющие по окружности несколько гнезд. Каждое гнездо вмещает одну банку. Охлаждение в этих установках водяное, противодавление — воздушное. Установки рассчитаны обычно на стерилизацию банок только одного размера или двух, но мало отличающихся друг от друга. Роторные установки нашли применение главным образом в Соединенных Штатах Америки и в Англии.

Примером стерилизационной установки конвейерного типа может служить аппарат конструкции В. Пастернака и Е. Лурье. В этом аппарате банки (жестяные, или бутылки СКК) при перемещении через ванну вращаются вокруг своей оси, благодаря чему значительно ускоряется время прогрева и сокращается общий цикл стерилизации. Установка (рис. 71) состоит из двух ванн, расположенных одна над другой. В нижней (1) происходит пастеризация, в верхней (2) — охлаждение. В каждой ванне по длине ее размещено 12 роликов (3) из катаных труб, вращающихся в одну сторону. Между роликами проходят цепи транс-

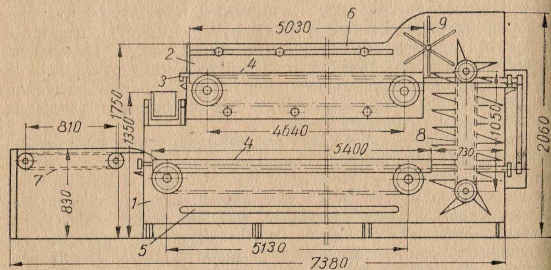


Рис. 71. Непрерывно действующий пастеризатор Пастернака — Лурье.

портера (4) с лапками, служащие для продольного перемещения банок. В пастеризационной ванне ролики и транспортер находятся в воде, подогреваемой паром через барбоер (5). В охлаждающей ванне под роликами и транспортером установлен трехступенчатый водяной душ (6). Для охлаждения банок под душами первой и средней ступени (нумерация — по направлению движения банок к разгрузке) используется вода, нагретая за счет охлаждения банок и взятая после душа предыдущей ступени: душ первой ступени подает воду из средней ступени, душ средней ступени подает воду из последней ступени и только в душ последней ступени поступит вода из водопровода. Вода всюду перекачивается насосами. Таким образом, в охладителе использован принцип противотока. Самая же горячая вода после первой ступени передается в пастеризационную ванну. Для подачи бутылок в пастеризатор имеется загрузочный двенадцатицильный транспортер (7). Этим транспортером бутылки вталкиваются на вращающиеся ролики пастеризатора. Благодаря трению роликов о бутылки последние начинают вращаться вокруг своей оси, одновременно перемещаясь лапками транспортера к другому концу ванны.

Продолжительность пастеризации зависит от скорости движения цепей транспортеров и может изменяться от 3 до 10 мин. Из пастеризатора бутылки попадают в охладитель по вертикальному транспортеру (8), совершающему периодическое движение, а затем — с помощью шестилопастного съемника (9). Пройдя три ступени охлаждения, банки выгружаются на ленточный транспортер. К достоинствам этой конструкции относится вращательное движение банок или бутылок, позволяющее в несколько раз сократить время прогрева, рациональное использование охлаждающей воды, подогреваемой за счет тепла, отдаваемого охлаждающимися банками, и большая производительность — до 1500 бутылок в час. Однако кинематика этого аппарата довольно сложна. Кроме того, аппарат предназначен только для открытой стерилизации.

К гидростатическим стерилизаторам относится, например, аппарат конструкции французского инженера Пьера Карвалло. К этому же типу стерилизаторов относятся аппараты английской фирмы Митчелл Инджиниринг. Схема устройства гидростатического стерилизатора показана на рис. 72. Две бесконечные цепи с укрепленными на них трубчатыми перфорированными корзинами проходят через U-образный канал — шахту, наполненную водой, нагреваемой снизу. Вода превращается в пар, который под действием гидростатического давления воды достигает температуры, достаточно высокой для стерилизации пищевых продуктов. Температура в канале стерилизатора постепенно увеличивается сверху вниз, пока банки не доходят до паровой камеры, прилегающей ко второму колену U-образного канала, в которой поддерживается температура 115—126°С. Необходимый температурный уровень регулируется высотой столба воды в вертикальных каналах. Далее цепь с корзинами проходит через паровую камеру и выходит через противоположный канал навстречу противотоку воды, температура которой постепенно падает. После выхода из канала корзины проходят через охлаждающий тенк и банки автоматически разгружаются. Таким образом, в левом канале осуществляется подогрев, в камере — собственно стерилизация, а в правом канале — охлаждение, и благодаря остроумному принципу использования гидростатического напора удается создать необходимое давление в открытом, по сути, аппарате.

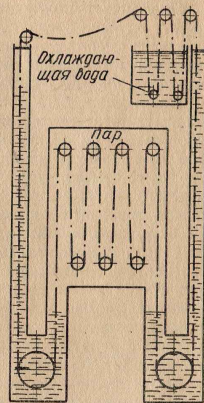


Рис. 72. Гидростатический стерилизатор.

Аппарат можно использовать как для жестяной, так и для стеклянной тары. Гидростатические стерилизаторы очень высоки: габаритная высота их колеблется в пределах 10,5—19,5 м.

б. Греющая среда

В качестве греющей среды в стерилизационных аппаратах используют пар и горячую воду, а в качестве греющего агента — пар.

Пар может применяться в качестве греющей среды в том только случае, когда консервы расфасованы в жестяные банки и должны стерилизоваться в автоклаве под давлением. При этом греющий агент непосредственно передает свое тепло аппарату и банкам, и прогрев, таким образом, происходит довольно быстро.

Стеклянные банки, независимо от типа стерилизационного аппарата (открытого или работающего под давлением), стерилизуют только водой, подогреваемой паром. Стерилизовать стеклянные банки непосредственно паром нельзя. Подаваемый в автоклав пар имеет температуру выше 120°С. При соприкосновении такого горячего пара с относительно холодной поверхностью стекла может произойти термический бой банки. Для того, чтобы это не произошло, нужно, чтобы температура греющей среды с самого начала незначительно превышала температуру банки и чтобы повышение температуры среды происходило постепенно. Поэтому для стерилизации стеклянных банок пар используется только в качестве греющего агента, передающего свое тепло консервным банкам через греющую среду — воду. Скорость прогрева аппарата и банок при этом меньше, чем при паровой стерилизации, пар расходуется в значительно больших количествах и менее рационально (так как количество тепла, необходимое для подогрева воды, больше, чем для подогрева банок), но зато самый прогрев происходит постепенно и более равномерно. Кроме того, после стерилизации, как это будет подробно изложено ниже, консервы, как правило, охлаждают холодной водой. При стерилизации жестяных банок паром резкая смена температур при охлаждении не отражается на целостности тары. Если так же стерилизовать стеклянные банки, то резкая смена сред привела бы, несомненно, к стопроцентному бою банок. В том же случае, если и греющей и охлаждающей средами является вода, смена сред не происходит вообще, а происходит только перемешивание их с постепенным охлаждением одной и нагреванием другой. Таким образом, сама вода является своего рода буфером при охлаждении, смягчающим резкие температурные перепады, очень нежелательные и опасные для стекла.

Стерилизация горячей водой применяется также и для жестяных банок, если температурный режим находится в пределах до 100°С, а также в тех случаях, когда жестяные банки стерилизуют с применением так называемого противодавления, о котором будет рассказано ниже.

в. Стерилизация паром

Схема коммуникации автоклава, предназначенного для стерилизации консервов паром, показана на рис. 73.

Процесс стерилизации консервов в жестяной таре производится следующим образом: автоклавные сетки с банками загружаются в автоклав, затем крышка его герметически закрывается и начинается подача пара.

В начале прогрева, одновременно с подачей пара снизу, открывают продувочный краник, находящийся на крышке автоклава, и выпускают из него смесь пара и воздуха. Этот этап стерилизации носит название продувки и предназначен для удаления из автоклава воздуха, являющегося плохим проводником тепла и задерживающего поэтому стерилизацию. Продувка продолжается 7—8 мин. и заканчивается, когда из продувочного краника начинает выходить обильная струя пара, что свидетельствует о том, что воздух из автоклава полностью удален. Тогда продувочный краник закрывают и продолжают подачу пара до тех пор, пока в автоклаве не установится требуемая температура стерилизации. Иногда период продувки автоклава указывается в формуле стерилизации отдельно от времени подъема пара и тогда формула стерилизации имеет вид:

$$\frac{a - A - B - C}{t^0}, \quad (V, 6)$$

где

a — время продувки.

Когда температура стерилизации достигнута, подачу пара почти прекращают, прикрывая паровой вентиль до $\frac{1}{4} - \frac{1}{8}$ оборота. Далее следует период собственно стерилизации, в течение которого необходимую температуру в автоклаве поддерживают постоянной, регулируя, при надобности, подачу пара вентилем. В период собственно стерилизации за правильностью поддерживаемого режима следят не только по показаниям термометра, но и по показаниям манометра, так как между температурой и давлением насыщенного пара имеется, как известно, определенная зависимость, приведенная в таблицах параметров насыщенного водяного пара. Существование такой зависимости является благо-

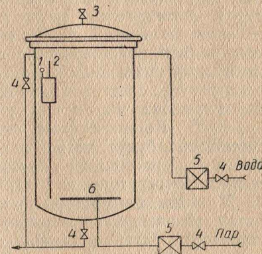


Рис. 73. Схема коммуникации автоклава для стерилизации паром:

1 — манометр; 2 — термометр; 3 — продувочный краник; 4 — вентиль; 5 — обратные клапаны; 6 — барботер.

приятным обстоятельством, дающим возможность контролировать течение процесса двойное, по показаниям двух приборов.

В связи с этим становится понятным, насколько важно *полностью* удалить воздух в период продувки автоклава. Если, например, термометр показывает *нужную* температуру стерилизации, а манометр — *больше*, чем следует по таблице насыщенного пара, то прежде, чем проверять исправность прибора, необходимо произвести кратковременную продувку автоклава, так как искажение показаний манометра в данном примере могло произойти из-за того, что часть воздуха в автоклаве осталась. Той же причиной можно объяснить положение, когда температура в автоклаве еще не достигла заданной температуры стерилизации, а показания манометра уже соответствуют тому, что должно быть при стерилизации. И только тогда, когда манометр показывает *меньше* того, что он должен показывать при данной температуре, следует искать причину в неисправности обоих приборов и поочередно их проверить.

И. С. Каган считает, что более правильные показания термометра будут тогда, когда он установлен не на боковой камере, а на крышке автоклава; при этом термометр показывает температуру в верхней части автоклава, которая на 1—2° ниже температуры в нижней части. Исходя из этого, автор рекомендует прекращать подачу пара в автоклав, когда термометр будет показывать температуру на 1—2° меньше температуры стерилизации. Если этого не сделать, то вследствие некоторого перегрева банок в нижней части автоклава термометр спустя некоторое время покажет дальнейшее (уже ненужное) повышение температуры, хотя подача пара уже прекращена.

По окончании собственно стерилизации доступ пара в автоклав прекращают, полностью перекрывая паровый вентиль и слегка открывают либо продувочный краник на крышке автоклава, либо вентиль сбоку автоклава, находящийся на сливной трубе, ведущей в канализацию. По мере выпуска пара из автоклава давление в нем падает и температура понижается. В начале спуска пара производят медленно, а к концу этого этапа стерилизации продувочный краник открывают сильнее и понижают давление в автоклаве до атмосферного.

Если спуск пара произвести не постепенно, а сразу, то в результате быстрого падения давления в автоклаве может образоваться брак. Ранее (см. раздел IV) было показано, что давление в жестяной банке при стерилизации превышает давление в автоклаве на величину парциального давления воздуха, содержащегося в банке к началу стерилизации. Это превышение давления приводит во время стерилизации к некоторому вздутию концов — временному бомбажу консервов. Это нормальное явление, отнюдь не свидетельствующее о порче консерва, как это бывает при биологическом бомбаже, вызываемом газами, обра-

зовавшимися при разложении консерва в результате действия микробов. Однако при резком спуске давления это превышение давления внутри банки над давлением в автоклаве резко возрастает и банку может разорвать, чаще всего по продольному шву. В тех случаях, когда целостность банки сохраняется, может быть нарушена герметичность продольного и закаточного швов, что впоследствии обязательно приведет к порче консерва из-за проникновения в банку микроорганизмов из воздуха. Наконец, из-за слишком сильного вздутия концов жесть настолько растягивается, что в ряде случаев (особенно, если жесть тонкая) может образоваться остаточная деформация в виде выпуклой складки на донцах, обращенной своим углом к закаточному шву. Эта деформация носит название «птичка». При наличии «птичек» все деформированные банки подлежат термостатной выдержке, так как герметичность их, из-за образования складки вблизи закаточного шва, поставлена под сомнение.

Если же спуск пара в автоклаве производить постепенно, давая охладиться не только автоклаву, но и банкам, то давление будет понижаться и в автоклаве, и в банках, причем до самого конца спуска пара превышение давления в банке над давлением в автоклаве останется, но не будет слишком большим. Поэтому понижение давления в автоклаве следует производить плавно, в полном соответствии с формулой стерилизации.

Когда давление в автоклаве снижено до атмосферного, отвинчивают барашки, открывают крышку автоклава и, для того чтобы предотвратить излишнее разваривание консервов, производят охлаждение их водой. Вода подается через верхнюю часть автоклава и заполняет аппарат доверху. Затем сетки с банками выгружают, банки перетирают, разбирают и сдают на склад.

Иногда, чтобы не задерживать аппарат, охлаждение банок производят вне автоклава, в какой-нибудь ванне с водой или под душем. В некоторых случаях, если не опасаются разваривания консервов, банки выгружают из автоклавов сразу по окончании спуска давления и дают им медленно остыть на воздухе. При этом появляется возможность произвести так называемую «горячую браковку» банок, т. е. такой осмотр их, при котором о герметичности судят по двустороннему вздутию концов. Банки же с вздувшимися концами считают негерметичными и выделяют в отдельную партию для последующего наблюдения, либо тут же вскрывают и содержимое используют для вторичной переработки (например, фаршированные овощи — для изготовления овощной икры или мясную тушенку — для производства паштета).

И. С. Каган рекомендует еще один способ охлаждения банок, который позволяет предупредить возникновение опасных деформаций и ликвидировать брак на последнем этапе стерилизации. Этот способ заключается в следующем: по окончании собственно стерилизации в автоклав подают сжатый воздух, увеличивая

внутреннее давление на 0,5–0,8 атм., затем пускают воду под давлением, превышающим давление в автоклаве. При этом в результате конденсации пара, имеющегося в автоклаве, давление в последнем начинает быстро падать. Этого допускать нельзя. Поэтому одновременно с подачей первых порций воды следует пускать и большие порции сжатого воздуха с таким расчетом, чтобы давление в автоклаве не опускалось ниже того, каким оно было во время стерилизации. Когда конденсация пара закончилась, подачу сжатого воздуха нужно прекратить, тем более что, по мере заполнения автоклава водой, воздух сжимается и давление в автоклаве начинает расти. Так как подачу воды нужно продолжать, то для снижения избыточного давления часть воздуха выпускают через продувочный краник на крышке автоклава или через верхнюю сливную трубу. Затем подачу воды прекращают, понижают давление, открывают автоклав и выгружают банки. Существуют и другие варианты охлаждения жестяных банок, стерилизовавшихся паром под давлением.

г. Стерилизация в воде с противодействием

Как отмечалось в разделе IV, давление в стеклянной банке при стерилизации больше того, которое при прочих равных условиях возникает в жестяной банке. Сопротивление же внутреннему давлению на срыв крышки с горловины банки относительно невелико (табл. 30).

Таблица 30

Температура при испытании (в °C)	Давление, срывающее крышку (в атм)
20	1,7
80	1,0
100	0,9
112–115	0,7

Поэтому, если не принять специальных предупредительных мер, то крышки с банок во время стерилизации будут сорваны и содержимое банок пропадет.

Эти предупредительные меры заключаются в том, что в автоклаве создают при стерилизации тем или иным способом давление, которое равно или превышает давление в банке. Во всяком случае, разница между давлением в банке и давлением в автоклаве должна быть меньше критического значения, при котором крышка срывается. Таким образом, стерилизацию проводят так, чтобы давление на крышку изнутри уравновесивалось давлением снаружи и чтобы, следовательно, крышка не вздувалась.

Такой способ стерилизации называется стерилизацией с противодействием. Он может быть применен не только для стеклянных банок, но и для жестяных, если хотят устранить воздушные

концов, приводящее к остаточным деформациям (что бывает при стерилизации крупных банок или банок, стерилизуемых при высокой температуре).

Противодавление в автоклаве может быть создано двумя путями: подачей в автоклав сжатого воздуха и за счет теплового расширения воды. Во втором случае противодавление создается либо благодаря сжатию воды (если автоклав заполнен водой доверху) или же благодаря сжатию оставшегося в автоклаве (при заполнении его водой) небольшого количества воздуха.

Режим стерилизации консервов в стеклянной таре с противодействием, а также схема оборудования автоклава, предназначенного для такой стерилизации, были разработаны в Советском Союзе лабораторией стеклотары Одесского консервного филиала ВНИХИ под руководством инженера И. С. Кагана. Схема коммуникации автоклава для стерилизации консервов в воде с воздушным или водяным противодействием показана на рис. 74.

Вся установка для стерилизации консервов с противодействием состоит из следующих частей:

- автоклава с коммуникацией и приборами;
 - воздушного компрессора с резервуаром сжатого воздуха;
 - водяного насоса с резервуаром воды под давлением.
- Автоклав снабжен следующими трубопроводами и приборами:
- продувочным краником (3);
 - предохранительным клапаном на корпусе;
 - камерой сбоку, соединенной циркуляционной трубой с нижней цилиндрической частью автоклава на уровне барботера;
 - манометром (1) на камере, с продувочным трехходовым краником;
 - термометром (2) в медной оправе с гильзой, куда наливается масло; термометр устанавливается вертикально в верхней части камеры;
 - паровым трубопроводом с вентилем (4) на отводной трубе от основной паровой магистрали, с обратным клапаном (5), установленным непосредственно после вентилея;
 - воздушным трубопроводом с вентилем (4) на отводной трубе от основной воздушной магистрали и обратным клапаном, установленным непосредственно после вентилея;
 - водяным трубопроводом с вентилем (4), на отводе от основной магистрали с обратным клапаном (5), с другим вентилем (4) и обратным клапаном (5) в наивысшей точке цилиндра

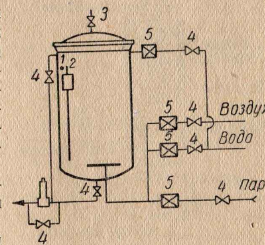


Рис. 74. Схема коммуникации автоклава для стерилизации водой.

рической части автоклава с вентилем, регулирующим подачу воды в нижнюю часть автоклава;

и сливным трубопроводом с вентилями (4), один из которых установлен снизу автоклава и соединен с самой нижней частью дна, а другой — сбоку в верхней части автоклава; кроме того, внизу на этом трубопроводе имеется сливной клапан (6), соединенный с верхней частью автоклава, служащий для регулирования давления, а также обводной вентиль (4).

Паропровод, воздухопровод и водопровод снизу автоклава включают после соответствующих обратных клапанов и вентилей в общую магистраль, которая соединена с барботером внутри автоклава.

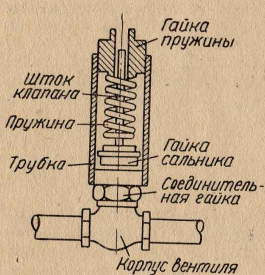


Рис. 75. Сливной клапан.

клава монтируется на передней стороне его, справа от фасада автоклава. Паровой и воздушный вентили монтируются на передней стороне автоклава, но слева, где находится манометр и термометр. Шток сливного пробкового крана выводится по середине фасада. Все вентили, находящиеся внизу автоклава, должны иметь штоки для верхнего управления.

Сливной клапан (рис. 75) состоит из корпуса вентилей, внутри которого помещается клапан, прижимаемый к седлу пружиной, регулируемой специальной гайкой; в зависимости от принятого по режиму давления в автоклаве регулируется степень сжатия пружины. Как только давление в автоклаве станет больше установленного, оно преодолест сжимающую силу пружины, клапан откроется и давление понизится.

Техника стерилизации с воздушным противодавлением

До загрузки сеток подогревают воду в автоклаве до температуры, превышающей температуру банок с продуктом на 10—15°. Затем сетки с банками загружаются в автоклав, причем вода должна покрывать верхний ряд банок на 10—15 см.

Автоклав закрывают и подают в него снизу через барботер смесь пара с воздухом либо только один сжатый воздух с таким расчетом, чтобы быстро создать необходимое противодавление. Когда необходимое противодавление создано, подачу воздуха прекращают и в автоклав пускают или продолжают пускать пар до тех пор, пока не достигнут температуры стерилизации. Затем паровой вентиль прикрывают и приступают к собственно стерилизации, во время которой поддерживается постоянная температура.

Противодавление в автоклаве в течение всего периода подогрева и стерилизации должно поддерживаться на постоянном уровне. Величина этого противодействия входит в формулу стерилизации, которая в этом случае имеет вид:

$$\frac{A - B - C}{t^2} \cdot P, \quad (V.7)$$

где

P — противодавление в атм.

Таким образом, в отличие от паровой стерилизации, при данном методе стерилизации показания термометра и манометра не зависят друг от друга.

Если давление повышается сверх установленной величины, то его понижают, выпуская часть воды через сливной регулирующий клапан. Если давление падает, то возобновляют подачу сжатого воздуха.

Во время стерилизации периодически производят продувку автоклава (каждые 15—20 мин.), выпуская газовую смесь из верхней части автоклава через боковую сливную трубу и подавая снизу смесь пара и воздуха. Это делается для перемешивания воды в автоклаве с целью более равномерного распределения температуры.

Последний этап процесса — охлаждение — производится следующим образом: включают водяной насос и начинают подавать воду в верхнюю часть автоклава. Затем сейчас же открывают нижний вентиль на сливной трубе и начинают выпускать горячую воду. При этом холодная вода, будучи более тяжелой, опускается вниз, перемешиваясь с горячей, которая выпускается снизу, в результате чего температура воды в автоклаве плавно понижается.

Ни в коем случае нельзя производить охлаждение в обратном порядке, т. е. подавать холодную воду снизу, а горячую — отводить сверху. При подаче холодной воды снизу самопроизвольного перемешивания воды в автоклаве не будет, так как, будучи тяжелее горячей, холодная вода может подняться наверх только в результате напора, выдавливая горячую воду наверх, но почти с нею не смешиваясь. Таким образом, холодная вода, поднимаясь вверх, будет попадать на горячие банки, что приведет к массовому их бою.

В период охлаждения противодействия также должно поддерживаться постоянным, как и в период подогрева и стерилизации. Только лишь по окончании охлаждения закрывают водяной и воздушный вентили, снижают давление в автоклаве до атмосферного, открывают крышку и производят разгрузку.

Во время стерилизации или охлаждения можно нечаянно понизить уровень воды в автоклаве, так что верхний ряд банок оголится. При этом уровень воды нужно восстановить, подавая осторожно воду небольшими порциями через нижний вентиль, а не через верхний, в противном случае могут лопнуть верхние банки. В связи с этим при стерилизации с воздушным противодействием важно знать местоположение уровня воды в автоклаве. Для контроля этого уровня необходимо в наивысшей цилиндрической части автоклава установить пробный краник.

Нужно сказать, что верхние банки находятся все же в более опасном положении (в период охлаждения), чем нижние, так как струя холодной воды, не успев смешаться с горячей, может ударить прямо в эти горячие банки и вызвать термический бой. Поэтому на ряде заводов, по предложению доц. В. З. Жадана, охлаждающая вода подается не в верхнюю цилиндрическую часть автоклава, а через центральную часть крышки. На внутренней стороне крышки, по ее окружности, монтируется змеевик с отверстиями, которые направлены вверх, в сторону крышки. Змеевик соединяется с водопроводом гибким прорезиненным шлангом или резиновой подугайкой. При такой системе охлаждения вода, выходя из отверстий змеевика, ударяется в крышку автоклава и падает вниз в виде тонких душевых слегка согретых струй. Это приспособление дает возможность почти полностью ликвидировать бой банок в верхнем ряду во время охлаждения.

Техника стерилизации с водяным противодействием

Загрузив сетку с банками и герметически закрыв автоклав, подают внутрь воду до тех пор, пока она не заполнит весь автоклав и не покажется из продувочного краника на крышке автоклава.

После этого пускают в змеевик пар. Первые же порции пара, сконденсировавшись, увеличат объем воды в автоклаве. Кроме того, объем воды увеличивается и за счет ее теплового расширения. А так как автоклав с самого начала был до отказа заполнен водой, а вода плохо сжимается, то давление в автоклаве начинает быстро возрастать и уже при 70—80°C может оказаться на уровне, требуемом по режиму. Поэтому, наряду с подачей пара в барботер, необходимо к этому времени прекратить повышение давления, удаляя избыток воды через верхний краник или же через верхний вентиль на боковой сливной трубе.

Далее подачу пара прекращают и приступают к собственно стерилизации, поддерживая постоянными температуру и давление путем регулировки (в случае надобности) подачи пара и выпуска воды. Необходимо иметь в виду, что к концу периода подогрева давление в автоклаве следует поднять несколько выше (на несколько десятых атмосферы) требуемого, так как при разобщении автоклава от паровой магистрали к началу стерилизации давление несколько понижается.

Охлаждение автоклава после стерилизации производится так же, как и в случае применения воздушного противодействия.

Этот способ создания противодействия имеет одну очень неприятную особенность, которая заключается в том, что малейшие изменения объема воды в автоклаве резко отражаются на величине давления. Достаточно небольшой утечки воды за счет технических возможных неплотностей соединений в автоклаве, как давление резко падает, и наоборот, при подаче небольшого количества пара давление может также резко возрасти. Эта особенность связана с сущностью самого способа, принцип которого на том и основан, что давление в автоклаве возникает за счет увеличения объема воды в заполненном доверху аппарате. Резкие колебания давления, которые вполне возможны при встречающихся неплотностях в сальниках, набивках и т. п. (не говоря уже о недосмотрах при обслуживании), могут привести иногда к масовому браку из-за срыва крышек.

Поэтому более удобно работать, если противодействие создается при наличии «воздушной подушки». Этот способ создания противодействия заключается в следующем: после предварительного подогрева воды и загрузки в автоклав банок доливают воду с таким расчетом, чтобы уровень ее на 2—3 см не доходил до верхнего края цилиндрической части. Затем закрывают все вентили и краны, крышку и пускают в барботер пар. Таким образом, автоклав к началу подогрева не весь заполнен водой; некоторая часть воздуха в нем (воздушная подушка) оставлена.

По мере пропускания пара и нагревания воды объем ее увеличивается, а объем пространства, заполненного воздухом в верхней сферической части автоклава, уменьшается. Поэтому воздух сжимается, давление его возрастает и к концу периода подогрева достигает нужной по «формуле» величины. При таком методе давление в автоклаве повышается очень плавно, а небольшие изменения объема воды при ее утечке или при подаче пара мало отражаются на величине противодействия. Таким образом, воздушная подушка является своего рода буфером, принимающим на себя возникающие в системе колебания давления.

Если к концу подогрева величина давления оказывается недостаточной, то в автоклав добавляют некоторое количество воды под давлением. Стерилизация и охлаждение производятся так же, как и в предыдущем варианте.

Помимо схем с ручной регулировкой температуры и давления, существуют также схемы оборудования автоклавов для автоматического управления процессом стерилизации. При этом все предварительные операции по подготовке автоклава, загрузке банок и т. п. производятся так же, как и в случае ручной регулировки. Для автоматической регулировки автоклава снабжаются соответствующими приборами: терморегулятором, регулятором давления, прибором для автоматической записи температуры.

д. Расчет пропускной способности автоклава

Так как автоклав является аппаратом периодического действия, то для расчета пропускной способности его необходимо знать величину цикла работы — Ц.

$$\text{Ц} = 3 + A + B + C + \text{в}, \quad (\text{V}, 8)$$

где 3 — продолжительность загрузки (в мин.);

в — продолжительность выгрузки (в мин.);

A, B, C — этапы формулы стерилизации.

Тогда в течение 8 часов аппарат сделает оборотов

$$n = \frac{480}{\text{Ц}}, \quad (\text{V}, 9)$$

и, следовательно, пропускная способность автоклава в течение 8 часов работы, если емкость его в банках обозначить E, будет:

$$q = \frac{480E}{\text{Ц}}. \quad (\text{V}, 10)$$

Таким образом, для расчета пропускной способности автоклава необходимо знать цикл его работы и емкость.

Нужно сказать, что в литературе отсутствуют исчерпывающие справочные данные о емкости автоклава применительно ко всем существующим консервным банкам. Вместе с тем определить рабочую емкость автоклава можно не только путем непосредственного замера, но и расчетным путем.

Воспользуемся для этого следующими рассуждениями. Наполненная банками автоклавная сетка состоит из нескольких (по высоте) рядов банок, причем в каждом ряду банки располагаются концентрическими кольцами (рис. 76). Если обозначить диаметр автоклавной сетки через D, а диаметр банки — через d, то длина окружности первого кольца будет

$$\pi D_1 = \pi (D - d), \quad (\text{V}, 11)$$

а количество банок, расположенных в первом кольце, составит (с некоторым приближением):

$$a_1 \cong \frac{\pi}{d} (D - d). \quad (\text{V}, 12)$$

Точно так же длина окружности второго кольца будет

$$\pi D_2 = \pi (D - 3d), \quad (\text{V}, 13)$$

а количество банок во втором кольце

$$a_2 \cong \frac{\pi}{d} (D - 3d). \quad (\text{V}, 14)$$

Рассуждая аналогичным образом, получим количество банок в третьем кольце:

$$a_3 \cong \frac{\pi}{d} (D - 5d); \quad (\text{V}, 15)$$

в четвертом кольце:

$$a_4 \cong \frac{\pi}{d} (D - 7d). \quad (\text{V}, 16)$$

Суммируя выражения (V, 12), (V, 14), (V, 15) и (V, 16), получим общее количество банок в одном четырехкольчатом ряду A:

$$\begin{aligned} A &= a_1 + a_2 + a_3 + a_4 \cong \\ &\cong \frac{\pi}{d} (4D - 16d), \quad (\text{V}, 17) \end{aligned}$$

а в общем виде

$$A \cong \frac{\pi}{d} (nD - n^2d), \quad (\text{V}, 18)$$

где

n — количество концентрических колец в одном ряду.

В связи с тем, что последняя банка у центра уже не образует кольца, количество концентрических колец будет:

$$n = \frac{R}{d} - 1. \quad (\text{V}, 19)$$

Подставив значение для n из выражения (V, 19) в формулу (V, 18) и произведя необходимые преобразования, получим

$$A = \pi \left(\frac{R^2}{d^2} - 1 \right). \quad (\text{V}, 20)$$

Расчитанная таким образом величина A будет верна лишь при условии, что в центре сетки не остается нескольких «беспорядочно» (т. е. не по кольцу) расположенных банок и что «кольца», проходящие через центры банок, представляют собой геометрические окружности. Последнее было бы верно, если бы банки смежных колец соприкасались по касательной только в одной точке, как это изображено на рис. 76. В действительности же некоторые банки соприкасаются в двух точках, заполняя «вна-

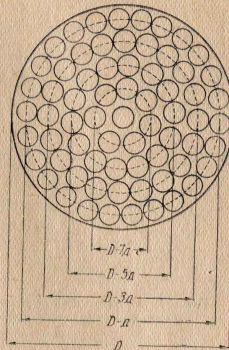


Рис. 76. Укладка банок в сетку (теоретическое расположение).

В.М.

дину», образуемую двумя соседними банками. Благодаря этому они укладываются более «плотно», чем это изображено на рис. 76, а именно так, как показано на рис. 77.

Сопоставление расчетных данных, полученных по формуле (V, 20), с опытными данными, полученными при укладке банок разных размеров в автоклавные сетки, показывает, что в формулу (V, 20) необходимо ввести поправочный коэффициент 1,03 и тогда она примет такой вид:

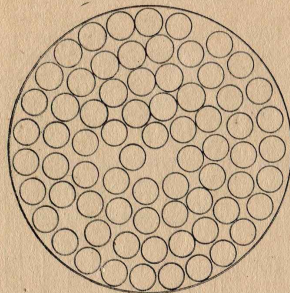


Рис. 77. Укладка банок в сетку (реальное расположение).

дробное число, то любую дробь, приходящуюся сверх целого числа, отбрасывают, оставляя только целое число. Исключение для некоторых банок можно сделать только для верхней сетки, в которой при этом поместится на один ряд больше, чем в нижних.

Для более точного расчета нужно также учесть, что перекладина, имеющаяся в некоторых автоклавных сетках, уменьшает количество банок в верхнем ряду сетки приблизительно на 15%.

Следует заметить, что формулу (V, 21) можно, с небольшим ущербом для точности, упростить. Если раскрыть скобки, получится:

$$A = 1,03 \frac{\pi R^2}{d^2} - 3,2. \quad (V, 23)$$

Рассматривая выражение (V, 23), можно сказать, что количественно оно мало отличается от выражения $\frac{\pi R^2}{d^2}$, ибо, отбрасывая вычитаемое (3,2), мы увеличиваем результат на 3,2 банки, а пренебрегая коэффициентом 1,03, уменьшаем результат на 3%. т. е. в случае даже маленькой банки, например имеющей диаметр 56,5 мм, уменьшаем на 7 банок. Следовательно, максимальная разница не превышает 4 банки. Таким образом, менее точная,

$$A = 3,23 \left(\frac{R^2}{d^2} - 1 \right). \quad (V, 21)$$

Таким образом, рабочую емкость автоклава можно рассчитать по формуле:

$$E = 3,23 \frac{H}{h} \left(\frac{R^2}{d^2} - 1 \right) k, \quad (V, 22)$$

где

H — высота сетки,
 h — высота банки,
 k — количество сеток в автоклаве.

При пользовании формулой (V, 22) необходимо отдельно рас-

считывать отношение $\frac{H}{h}$, и, если при делении H на h получается

но более простая формула для расчета количества банок, помещающихся в одном ряду, будет:

$$A = 0,785 \frac{D^2}{d^2}, \quad (V, 24)$$

а следовательно, выражение для расчета емкости автоклава будет иметь вид:

$$E = 0,785 \frac{D^2 H}{d^2 h} k. \quad (V, 25)$$

Пользуясь найденными формулами, можно рассчитать не только пропускную способность автоклава, но и количество необходимых автоклавов, а также составить график работы группы аппаратов.

Необходимое количество автоклавов N зависит от производительности цеха Q и пропускной способности одного аппарата q :

$$N = \frac{Q}{q}. \quad (V, 26)$$

Подставив в формулу (V, 26) значение q из выражения (V, 10), получим:

$$N = Q : \frac{480 E}{\pi};$$

$$N = \frac{Q \pi}{480 E}. \quad (V, 27)$$

При пользовании формулой (V, 27) необходимо иметь в виду, что получаемый иногда при расчете дробный результат нужно округлять в большую сторону до ближайшего целого числа.

При составлении графика работы группы аппаратов необходимо рассчитать показатель, который принято называть *интервалом между загрузкой смежных автоклавов* J .

Этот интервал представляет собой промежуток времени, в течение которого цех (или линия в цехе) выпустит такое количество банок, которого как раз достаточно, чтобы заполнить автоклав. Если минутная производительность цеха составляет $\frac{Q}{480}$ банок, то искомый интервал получится при делении E на $\frac{Q}{480}$:

$$J = E : \frac{Q}{480};$$

$$J = \frac{480 E}{Q}. \quad (V, 28)$$

Сопоставляя выражения (V, 28) и (V, 27), можно окончательно получить:

$$J = \frac{\pi}{N}. \quad (V, 29)$$

Рассчитывая интервал по формуле (V, 29), необходимо помнить о том, что, во-первых, значение N нужно брать всегда округленное до ближайшего целого числа (в большую сторону) и что, во-вторых, найденное значение необходимо также округлять (в большую сторону) до ближайшего целого числа.

Пример. Рассчитать необходимое количество автоклавов и составить график их работы при условии: линия вырабатывает 20 тыс. физических банок (100 × 68 мм) баклажанной икры в смену. Формула стерилизации $\frac{15-70-15}{112^{\circ}C}$. Продолжительность загрузки 10 мин., выгрузки — 10 мин. Автоклавы двухсетонные. Диаметр сетки 94 см, высота 58, 5 см.

Количество банок в одном ряду сетки по формуле (V, 21).

$$A = 3,23 \left(\frac{47^{\circ}}{10^{\circ}} - 1 \right) = 68.$$

Количество рядов банок в одной сетке

$$\frac{H}{n} = \frac{585}{68} = 8,6.$$

Следовательно, в нижней сетке может поместиться 8 рядов банок, а в верхней — 9. Всего в автоклаве по высоте помещается 8 + 9 = 17 рядов банок. Таким образом, общее количество банок в автоклаве будет:

$$68 \times 17 = 1156.$$

Цикл работы автоклава составляет:

$$10 + 15 + 70 + 15 + 10 = 120 \text{ мин.}$$

Количество оборотов аппарата в смену будет:

$$480 : 120 = 4.$$

Отсюда пропускная способность автоклава в смену

$$q = 1156 \cdot 4 = 4624 \text{ банки.}$$

Тогда необходимое количество автоклавов составит:

$$N = 20000 : 4624 = 4,33 = 5.$$

А значит, интервал между загрузкой двух смежных автоклавов составит по формуле (V, 29):

$$J = \frac{120}{5} = 24 \text{ мин.}$$

Примечание. Если проверить, какое количество банок подаст линия за 24 мин., то окажется, что это будет число около 1000 банок. Таким образом, автоклав не будет заполнен доверху (емкость его составляет 1156 банок). Однако так и должно быть, ибо по расчету необходимо всего 4,33 аппарата, а мы же устанавливаем 5 автоклавов. Естественно, что каждый аппарат будет несколько недогружен.

Наконец, график работы этих 5 аппаратов будет иметь вид (табл. 31):

Таблица 31

Фазы	№ автоклавов					
	I	II	III	IV	V	I
Начало загрузки	8—00	8—24	8—48	9—12	9—36	10—00
Начало подъема пара	8—10	8—34	8—58	9—22	9—46	
Начало стерилизации	8—25	8—49	9—13	9—37	10—01	
Начало спуска пара	9—35	9—59	10—23	10—47	11—11	
Начало выгрузки	9—50	10—14	10—38	11—02	11—26	
Конец выгрузки	10—00	10—24	10—48	11—12	11—36	

То, что график составлен правильно, видно из того, что конец выгрузки 1-го автоклава как раз совпадает с тем моментом, когда этот автоклав можно, согласно графику, снова загрузить.

3. Асептическая стерилизация

а. Асептическое консервирование кислотных продуктов

Процесс стерилизации в таком виде, в каком он существует в настоящее время, является технически несовершенным процессом, особенно если он проводится в периодически действующих аппаратах. Основные недостатки этого процесса следующие:

1. Периодичность обработки, затрудняющая создание поточной, непрерывно действующей производственной линии.

2. Значительная длительность обработки, да еще разная для разных банок.

3. Громоздкость. В процессе загрузки сеток банками, загрузки аппарата сетками, а также при разгрузке неизбежно «грубое» обращение с банками, при котором они встряхиваются, подвергаются толчкам и ударам. При этом не исключен механический бой стеклянных банок и деформация жестяных.

4. Небезопасность (как и при обслуживании любых аппаратов работающих под давлением).

5. Относительная сложность управления.

6. Трудоемкость обслуживания группы аппаратов.

7. Брак консервов при такой обработке (возможность срыва давления и пр.).

В общем, автоклавирование — технически отсталый процесс, и можно, не боясь преувеличения, утверждать, что именно этот важнейший этап технологического процесса консервирования пищевых продуктов ведется почти в таком же виде, в каком он полтора столетия назад был предложен Аппером.

Поэтому ученые и инженеры давно ставили вопрос: а нельзя ли избежать автоклавирования консервов? Избежать автоклавирования — это значит: во-первых, избежать необходимости подогрева банок с продуктом от какой-то начальной температуры до температуры стерилизации; во-вторых, — избежать необходимости поддерживать в банке температуру стерилизации в течение длительного времени. Иными словами, нельзя ли произвести нагрев продукта до температуры стерилизации до расфасовки его в банку, т. е. произвести полную или частичную стерилизацию продукта до расфасовки? При этом стерилизующий эффект предварительной тепловой обработки должен быть такой, чтобы температуру стерилизации в закатанной банке нужно было бы поддерживать всего несколько минут, т. е. в течение периода самопроизвольного охлаждения. Только при этих условиях можно отказаться от автоклавирования, т. е. от нагревания закатанной банки с продуктом.

В ряде случаев автоклавирование можно заменить горячей расфасовкой продукта в герметически укупориваемую тару. Так, например, консервируются фруктовые соки, расфасовываемые в крупную стеклянную тару (баллоны). Продукт до расфа-

совки подогревается до 85—90°С и при этой температуре разливается в горячие промытые водой и пропаренные баллоны, которые немедленно накрываются пропаренными крышками и герметизируются. Стерильность продукта обеспечивается тепловой обработкой его до разлива в тару и тепловой обработкой, происходящей в процессе довольно длительного остывания на воздухе герметизированного баллона.

Необходимо отметить, что стерильность консервов при таком методе горячей расфасовки обеспечивается, главным образом, путем довольно длительного нагревания продукта как до разлива, так и после расфасовки, в процессе самопроизвольного остывания. Процессы же расфасовки и закатки не производятся в стерильных, асептических условиях. Как во время разлива, так и во время закатки не исключена возможность внесения инфекции в пищевой продукт. Нет и гарантии стопроцентной стерильности крышек и баллонов. Однако, как было указано, промежутков времени, в течение которого в продукте поддерживается нужная температура, достаточно велик для того, чтобы обеспечить стерильность.

Но как быть в том случае, если масса консерва в банке не настолько велика, чтобы нужная температура держалась в банке достаточно долго? Тогда способ «горячей расфасовки» не мог бы обеспечить получение стерильного консерва. В этом случае необходимо прибегнуть к асептическому консервированию. Асептическое консервирование может проводиться двумя способами.

Первый способ заключается в том, что стерилизующий эффект обеспечивается полностью в процессе нагревания продукта до расфасовки. Все же последующие операции производятся в идеально асептических условиях, при которых вторичная инфекция исключена. Согласно этому способу продукт нагревается в каком-либо теплообменнике до расфасовки, немедленно охлаждается и расфасовывается в тару, будучи охлажденным до комнатной температуры. Тара, подаваемая под расфасовку, должна быть идеально простерилизована, и возможность ее заражения от места стерилизации до разливочной машины должна быть исключена. Аппарат для расфасовки должен быть совершенно стерильн. Процесс расфасовки должен происходить в атмосфере перегретого пара. Такая же паровая завеса должна быть на пути перехода наполненных банок в закаточной машине, в самом закаточном узле этой машины и в магазине, питающем закатку стерильными крышками.

Второй способ асептического консервирования заключается в том, что стерилизующий эффект обеспечивается не только при нагревании продукта до расфасовки, но и, частично, при последующем остывании герметически укуренного продукта. Таким образом, продукт расфасовывается не в охлажденном виде (как при первом способе), а в горячем. Все же остальные операции должны быть выполнены, как и при первом способе, асептически.

Таким образом, при асептическом консервировании нет нужды в аппаратах для нагревания консервных банок с продуктом. Продукт уже является стерильным в момент расфасовки (первый способ) либо становится полностью стерильным в процессе остывания после закатки банки (второй способ).

Однако при осуществлении метода асептического консервирования тоже возникают некоторые проблемы. Основная проблема заключается в том, что таким методом можно консервировать почти исключительно кислотные продукты, стерильность которых обеспечивается при температурах порядка 100°С и ниже. Именно такие пищевые продукты легко нагреть перед расфасовкой до температуры стерилизации, легко расфасовать при температуре стерилизации, а также и закатать, причем даже если температура расфасовки и закатки будет несколько ниже 100°С, она все же может оказаться достаточной для стерилизации продукта, банки и крышки.

Но как же быть с некислотными продуктами, которые нужно стерилизовать при температуре выше 100°С? Если и можно нагреть такие продукты в каком-либо подходящем теплообменнике до нужной температуры, то каким образом можно обеспечить поддержание этого же температурного уровня (т. е. выше 100°С) при расфасовке и закатке? Как обеспечить обработку банок, крышек и оборудования при температуре выше 100°С? Как создать асептические условия в самом производственном помещении и как устранить возможность внесения инфекции человеком, обслуживающим оборудование и аппаратуру?

б. Асептическое консервирование некислотных продуктов

Итак, проблемы, возникающие при асептическом консервировании, довольно сложны, особенно при консервировании некислотных консервов.

Что же является этим барьером, который отделяет довольно простую и легкую процедуру асептического консервирования кислотных продуктов от более сложной и трудной процедуры асептической стерилизации некислотных консервов? Этим невидимым барьером является температура, при которой вода кипит при нормальном атмосферном давлении, т. е. 100°С. Если консервируемые пищевые продукты можно было бы нагреть в «открытых» условиях до более высоких температур, требуемых для стерилизации некислотных продуктов, т. е. до 121°С и выше, то асептическое консервирование таких продуктов стало бы относительно простым делом. В этом случае можно было бы нагреть продукт перед расфасовкой до температуры стерилизации и при этой же температуре произвести наполнение и закатку банок. На этих предположках и основана разновидность метода асептического консервирования, предложенная Г. Смитом и Ч. Боллом и получившая название «процесс Смита — Болла».

и здоровые условия для работы, но и является мерой техники безопасности. Если по какой-либо причине откуда-либо вырвутся большие количества пара, они будут сейчас же сконденсированы с помощью этой установки для кондиционирования воздуха; 8) *освещение и вентиляция*. Электрические провода заключены в паронепроницаемые оболочки, а механическая энергия передается через валы, проходящие через стенки камеры, приводимые во вращение с помощью расположенных вне камеры электродвигателей.

Гарантия стерильности. Стерильность пищевых продуктов, законсервированных процессом Смита — Болла, обеспечивается рядом факторов. Основные из них следующие:

а) сведение к минимуму концентрации микробов в банке до укупорки (т. е. стерилизации продукта и тары высокой температурой);

б) проведение расфасовки и закатки в условиях, исключающих возможность вторичного заражения (применение паровых завес);

в) выдержка горячих укупорежных банок после закатки;

г) проведение процесса расфасовки и закатки в стерильной атмосфере (стерилизация воздуха).

Несмотря на то, что воздух, попадающий в барокамеру, является стерильным, всегда имеется все же возможность попадания в камеру единичной жизнеспособной споры — либо от обслуживающего персонала, либо от какого-нибудь другого источника. Однако, по существу, стерильность готовой продукции, которая достигается в процессе Смита—Болла, основана не на асептической расфасовке. Процесс Смита—Болла дает лишь гарантию того, что любое микробиологическое обсеменение продукта будет чрезвычайно незначительным. Только случайные банки могут содержать жизнеспособную споры, попавшую туда во время расфасовки. Хотя такое обсеменение может представлять собой термостойчивую споры, оно не опасно потому, что, когда такие споры присутствуют в малом количестве (как это следует из материала II главы), их можно уничтожить при сравнительно короткой тепловой обработке. Поэтому короткая выдержка закатанных банок при высокой температуре расфасовки обеспечивает уничтожение того небольшого количества микробов, которые либо попали в банку при наполнении, либо остались в продукте и банке, уцелев при нагревании до расфасовки. Таким образом, следующим этапом после закатки является выдержка банок в течение времени, достаточного для их стерилизации.

Итак, в процессе Смита — Болла реализуются следующие элементы теоретических основ стерилизации консервов:

а) снижение смертельного времени за счет применения высоких температур стерилизации;

б) снижение времени стерилизации за счет снижения концентрации микроорганизмов (в продукте, таре, оборудовании, воздухе).

Таким образом, стерильные условия работы в барокамере имеют решающее значение для сохранности консервов. По окончании рабочего дня имеется возможность полностью простерилизовать всю внутреннюю поверхность камеры, включая оборудование. При этом вся барокамера заполняется острым паром и нагревается до 121°С или выше. Это означает, что не только все оборудование, но и стены, пол и потолок помещения полностью стерилизуются в течение каждого дня. Необходимый для работы воздух, как уже было отмечено, до поступления в камеру механически стерилизуется. Кроме того, пищевой продукт, начиная с момента поступления в бункер наполнителя до момента накрывания банки крышкой, все время находится в паровой завесе. Таким образом, возможность обсеменения продукта микробами во время расфасовки минимальна, а температура при расфасовке достаточно высока, чтобы уничтожить любых микробов, которые могут оказаться в банке при наполнении.

Поскольку продукт расфасовывается в банки уже подогретым до температуры стерилизации, постольку обычный этап — время подогрева $\tau_{пр}$ — в данном процессе отсутствует, и, следовательно, общее время стерилизации в процессе Смита — Болла является только функцией смертельного времени:

$$\tau_{ст} = f(\tau_{см}).$$

Некоторые особенности процесса Смита — Болла. Необходимо иметь в виду, что в процессе Смита — Болла любой продукт более или менее полностью деаэрируется во время расфасовки. В сущности, воздуху трудно попасть в банку при расфасовке. Практически в банке остается только тот воздух, который имеется в свободном пространстве. Далее, не следует забывать, что из-за высокого температурного перепада между расфасовкой и последующим охлаждением степень уменьшения объема продукта при хранении больше, чем при обычной работе. Поэтому банки следует наполнять как можно больше, а так как в продукте практически нет воздуха, то в банке после охлаждения развивается чрезвычайно высокий вакуум. При использовании металлической тары для обеспечения необходимого наполнения банки применяют концы с выпуклым профилем. Эти концы такой конструкции, что принимают нормальное вогнутое положение лишь тогда, когда абсолютное внутреннее давление в банке становится на 0,5 — 0,7 атм меньше наружного.

Влияние повышенного давления на людей. Авторы процесса считают, что работа при давлении в 1,5 атм в течение 8 часов не представляет никакой опасности для здоровья человека. Такое давление можно создавать очень быстро, в течение 2 мин.

Авторы приводят данные испытания одного флотского пловца, при котором подъем давления от атмосферного до уровня 18 атмосфер был произведен менее чем за 9 мин., т. е. скорость увели-

чения давления составляла около 2 атмосфер в минуту. Никаких вредных последствий от такого испытания не произошло.

В сущности, имеется много данных, свидетельствующих о том, что пребывание под повышенным давлением оказывает даже благотворное влияние на здоровье человека. При каждом вдохе через легкие проходит более, чем двойное количество кислорода. Кроме того, если кислород находится под высоким давлением, то ускоряется и удаление углекислого газа. Работа при более высоком, чем атмосферное, давлении может быть опасна лишь слишком быстрым понижением давления. Если декомпрессия (сброс давления) производится слишком быстро, то избыток растворенного в крови азота выделяется, образуя в кровеносной системе пузырьки. Эти пузырьки могут вызвать газовый тромб, блокаду жизненно важных органов (кессонная болезнь) и даже смерть. Если же декомпрессия производится при соблюдении необходимых правил, то риска никакого нет. По данным Бюро шахтерских управлений США, при обследовании 809 838 случаев декомпрессий от давления в 1,5 атм только в 16 случаях люди чувствовали легкое недомогание (0,002 % случаев). Опыт работы различных американских медицинских морских, воздушных и шахтерских организаций показал, что в том случае, когда рабочее давление составляет 1 или менее атмосфер, ограничивать время декомпрессии вообще не следует. При работе же в течение 4 часов при давлении в 1,5 атм время декомпрессии не должно превышать 10 мин. Таким образом, если принять обычные разумные меры предосторожности, то для людей, работающих в стерилизационной барокамере Смита — Болла, никакой опасности и вреда нет.

Итак, основные черты асептической стерилизации по методу Смита — Болла следующие:

1. Продукт очень быстро нагревается до очень высокой температуры (140—150°С). При этом используются теплообменники, наиболее подходящие для данного конкретного продукта.

2. После такого подогрева продукт обычно несколько охлаждается, но все же расфасовывается и укупоривается при температуре, достаточно высокой для обеспечения стерильности некислотных продуктов (121°С и выше). Такая расфасовка и закатка осуществляется в барокамере под давлением воздуха в 1—1,5 атм.

3. Банки и крышки до расфасовки полностью или почти полностью стерилизуются паром, температура которого составляет 121°С и выше.

4. Оборудование для расфасовки и закатки используется обычное.

5. Барокамера может быть сконструирована так, чтобы вместить любое количество параллельных линий.

6. Время стерилизации определяется только лишь смертельным временем для микроорганизмов и поэтому не зависит от размеров тары.

7. Весь технологический узел содержится в хорошем санитарном состоянии, ибо имеется возможность полностью простерили-

зовать чень горячим паром (температурой 121°С и выше) всю внутреннюю поверхность стерилизационной камеры, а также все помещенное в ней оборудование.

8. Подлежащий в барокамеру воздух стерилизуется.

9. Благодаря непрерывной машинной обработке банки меньше повреждаются по сравнению с грубой обработкой их при обычной работе (загрузка и выгрузка автоклававших сеток и т. д.)

10. Облегчается стерилизация стеклобанок, исключается опасность срыва крышек в результате погрешностей, имеющих место при обычной стерилизации, особенно в период охлаждения.

* * *

В заключение необходимо сказать, что мировая консервная промышленность развивается в настоящее время в направлении сокращения длительности процесса стерилизации за счет использования высоких температур и применения метода асептического консервирования. При этом считают, что пищевые продукты, в которых теплопередача идет быстро (то ли благодаря наличию конвективных токов, то ли благодаря вращению банки при стерилизации), будут иметь лучшее качество при высокотемпературной стерилизации (т. е. выше 121,1°С), чем если они будут стерилизоваться при более низких температурах. И, наоборот, продукты, медленно прогревающиеся, будут обычно иметь лучшее качество, если их стерилизуют при температурах ниже 121,1°С. Вообще же говоря, быстро прогревающиеся продукты получают обычно лучшего качества при высокотемпературной стерилизации, чем медленно прогревающиеся, стерилизуемые при более низких температурах.

Как указывает Ч. Болл, анализ этих фактов приводит к выводу о том, что, увеличив скорость проникновения тепла в продукт, качество которого повреждается при обычной обработке, и повысив температуру стерилизации, мы можем добиться улучшения качества готовой продукции. На протяжении последних 30 лет в консервной промышленности проявляли большой интерес к вопросу высокотемпературной кратковременной стерилизации пищевых продуктов.

При разработке этих высокотемпературных кратковременных режимов стерилизации необходимо иметь в виду, что при такой обработке прогресс пищевого продукта происходит более равномерно. И хотя при таких режимах качество многих консервов улучшается, все же в основу их следует класть более высокие значения F -эффекта, чем для режимов, характеризующихся более низкой скоростью прогресса.

Что касается асептического консервирования, то оно применяется, в основном, к продуктам жидким, текучим, обладающим однородной консистенцией, к таким, как, например, фруктовые соусы и соки, овощные соки, пюре, супы, протертые консервы для детского питания, молоко обычное и гущенное и т. п.

ЛИТЕРАТУРА

Алеев Б. С. и Чистяков Ф. М., Микробиология консервирования, Пищепромиздат, ч. III, вып. 1, 1945.
 Болд Ч. О., Математический расчет продолжительности стерилизации консервов, Пищепромиздат, М., 1935.
 Бронштейн И. Н., Семеновьев К. А., Справочник по математике, Госиздат техн.-теор. литературы, М., 1948.
 Даскалов Х., Сокращение продолжительности технологических процессов в консервной промышленности, «Консервная и ооцесушлильная промышленность», 1957, № 3.
 Жадан В. З., Прогрессивность консервов в жестяных банках при стерилизации, Труды ОТИПХИ, т. 2, 1948.
 Заславский А. С., Флауменбаум Б. Л., О помутнении компотов из груш в стеклянных банках, Сб. работ Одесск. консервн. филиала ВНИХИ, 1938.
 Ильченко С. Г., Фан-Юнг А. Ф., Технология консервного производства, Пищепромиздат, М., 1950.
 Каган И. С., Вакуум-укорка СКО, «Консервная промышленность», 1936, № 1 и № 2.
 Каган И. С., Стерилизация консервов, Пищепромиздат, М., 1949.
 Каган И. С., Заславский А. С., Установление режима стерилизации консервов в стеклобанках, Сб. работ Одесск. консервн. филиала ВНИХИ, 1936.
 Киреев В. А., Курс физической химии, Гос. научно-техн. изд-во хим. лит., 1956. Сб. «Консервная промышленность. Пищевая промышленность за рубежом, Автоматизация и механизация процесса стерилизации консервов, Пищепромиздат, 1956.
 Рогачева А. И., Стерилизация консервов, Пищепромиздат, М., 1943.
 Рогачева А. И., Микробиологический контроль консервного производства, М., Пищепромиздат, 1953.
 Рогачева А. И., Фитонциды и их использование в консервной промышленности, Пищепромиздат, М., 1956.
 Сакович А. И., Флауменбаум Б. Л. Производство вишневого сока, «Конс. пром.», 1940, № 5—6.
 Справочник консерщика, Пищепромиздат, М., 1947.
 Суворов И. Ф., Курс высшей математики, Гос. изд-во «Сов. наука», М., 1955.
 Технология консервирования. Под ред. Ф. В. Цереветникова и М. С. Гроссмана, Пищепромиздат, М., 1938.
 Фан-Юнг А. Ф., Флауменбаум Б. Л., Изотов А. К., Технология консервирования плодов и овощей, Пищепромиздат, М., 1956.
 Федоров Н., О продолжительности прогревания консервов в жестяной таре, «Мясная индустрия СССР», 1951, № 2.
 Флауменбаум Б. Л., Расчет емкости автоклава, Пищевая промышленность СССР, 1947, № 6.
 Флауменбаум Б. Л., Влияние экстрастирования на давление в консервных банках при стерилизации, Труды ОТИПХИ, т. IV, 1951.
 Ball C. O., Theory and practice in processing, «Canner», 1927, N 5.
 Ball C. O., Advancement in sterilization methods for canned foods, «Food Research», 1938, v. 3, N 1—2.
 Ball C. O., Short-time pasteurization of milk, «Ind. and Engin. Chem.», 1943, N 35, 71.
 Food Industries Manual, London, 1949.
 Hicks E. W., On the evaluation of canning processes, «Food Techn.», 1951, V. 5, 134.
 Hicks E. W., Some implications of recent theoretical work on canning processes, «Food Techn.», 1952, v. 6., 175.
 Howard A., Canning Technology, London, 1949.
 Hurwicz H., Tischer R. G., Heat processing of beef, «Food Res.», 1952, v. 17, 380.

Hurwicz H., Tischer R. G., Thermal process evaluation, «Food Res.», 1955, v. 20, N 3.
 Jones O., Canning practice and control, London, 1949.
 Jakobsen F., Note on process evaluation, «Food Res.», 1954, v. 19, N 1.
 Jackson I. M., Olson F. C. W., Thermal processing of canned foods in tin containers. IV, «Food Res.», 1940, v. 5, N 4.
 Livingston G. E. and oth., Quality retention in baby foods processed by high temperature-short time methods, «Food Techn.», 1957, v. 11, N 1.
 Nicholas R. C. and oth., Effects of jar size, liquor, and product-to-liquor ratio on heating characteristics of fresh—packed pickle products, «Food Techn.», 1957, v. 11, N 10.
 Olson F. C. W., Stevens H. P., Thermal processing of canned foods in tin containers. II, «Food Res.», 1939, v. 4, N 1.
 Patashnik M., A simplified procedure for thermal process evaluation, «Food Techn.», 1953, v. 7, N 1.
 Schultz O. T., Olson F. C. W., Thermal processing of canned foods in tin containers. III, «Food Res.», 1940, v. 5, N 4.
 Smith H. L., Ball C. O., A new process for continuous bulk sterilization and high temperature filling of low acid foods, «Food Manufacture», 1955, Apr.
 Stumbo C. R., Thermobacteriology as applied to food processing, «Advances in food research», 1949.
 Stumbo C. R., New procedures for evaluating thermal processes for foods in cylindrical containers, «Food Techn.», 1953, v. 7, N 8.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Введение	5
<i>Глава I. Факторы, определяющие выбор температуры стерилизации</i>	
<i>Глава II. Факторы, определяющие выбор продолжительности нагревания консервов при стерилизации</i>	
1. Факторы, влияющие на смертельное время	10
а. Температура стерилизации	11
б. Химический состав консервов	18
в. Вид микроорганизмов и их количество	22
2. Факторы, влияющие на время проникновения тепла в центре банки	37
а. Физические свойства продукта	37
б. Физические свойства материала тары, толщина стенки банки и ее геометрические размеры	48
в. Начальная температура консерва	62
г. Состояние банки во время стерилизации	65
<i>Глава III. Математический расчет продолжительности стерилизации консервов</i>	
1. Основные понятия и предпосылки	67
2. Графический метод Бигелоу	69
3. Аналитический метод Болла	74
а. Сущность расчета	74
б. Уравнение кривых	77
в. Вывод формулы	78
г. Применение формулы	82
4. Упрощение аналитического метода	88
а. Облегчение нахождения g	88
б. Аналитическое определение продолжительности стерилизации	92
в. «Приведенный» стерилизующий эффект (F -эффект) процесса	92
г. Аналитический расчет приведенного стерилизующего эффекта данного режима стерилизации и определение продолжительности стерилизации при данном режиме по заданному F -эффекту	95
д. Пересчет исходных данных при изменении условий	97
е. Расчет продолжительности стерилизации с помощью номограмм	98
ж. Приближенный метод вычисления F -эффекта	101
5. Пути дальнейшего развития аналитического метода	114
а. Видоизменение основного принципа математического расчета	114

	Стр.
б. Определение времени стерилизации продуктов, в которых тепло распространяется путем теплопроводности	115
в. Определение времени стерилизации продуктов, в которых тепло распространяется путем конвекции	120
г. Влияние термостойкости спор на определение времени стерилизации по новому методу	121
д. Дальнейшее развитие и пути практического приложения нового принципа аналитического расчета	123

Глава IV. Давление в консервной банке при стерилизации

1. Давление в жестяной банке	129
2. Давление в стеклянной банке	138
3. Меры, позволяющие уменьшить давление в консервной банке при стерилизации	140
а. Экстаустирование	140
б. Влияние теплового экстаустирования на давление в жестяной банке	143
в. Влияние механического экстаустирования на давление в жестяной банке	145
г. Влияние теплового экстаустирования на давление в стеклянной банке	149
д. Влияние механического экстаустирования на давление в стеклянной банке	150
е. Применение устойчивых крышек	150

Глава V. Режимы стерилизации

1. Методика установления режима стерилизации	153
2. Техника стерилизации консервов	162
а. Аппаратура для стерилизации	162
б. Греющая среда	168
в. Стерилизация паром	169
г. Стерилизация в воде с противодавлением	172
д. Расчет пропускной способности автоклава	174
3. Асептическая стерилизация	183
а. Асептическое консервирование кислотных продуктов	183
б. Асептическое консервирование некислотных продуктов	185

Борис Львович Флауменбаум
Теоретические основы стерилизации консервов

Редактор Рыжко В. П.

Корректоры Медведева Л. Ф., Кац М. И.

БФ 02834. Зак. № 1744. Тираж 3000. Формат бумаги $60 \times 92^{1/16}$. Печ.
листов 12,25. Учетно-издат. листов 12,1. Бум. листов 6,13. Подписано к
печати 6/II—1960 г. Цена 4 руб. 25 коп. С 1-I-61 г. — 43

Отпечатано с матриц типографии им. Фрунзе, Харьков, Донец-Захаржев-
ская 6/8 в типографии издательства КГУ, Киев, Б. Шевченко, 14. Зак. 506.