

Кафедра химии Красноярского института советской торговли
Кафедра технологии продуктов общественного питания
Ленинградского института советской торговли
им. Ф. Энгельса

В. П. Сургутский, Н. И. Ковалев

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ И КОЛЛОИДНЫЕ
ЯВЛЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ПРОДУКТОВ
ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ**

Вып. I

Красноярск 1992

Кафедра химии Красноярского института
советской торговли

Кафедра технологии продуктов общественного питания
Ленинградского института советской торговли
им. Ф. Энгельса

В.П.Сургутский, Н.И.Ковалев

Физико-химические и коллоидные явления в
технологии продуктов общественного питания

Выпуск первый

Диффузия. Капиллярные явления. Фазовые
переходы и фазовые равновесия (кипение,
испарение, дистилляция, кристаллизация,
экстракция). Адгезия.

Учебное пособие для студентов
технологического факультета.

Под редакцией д.т.н.,
профессора Н.И.Ковалева

Красноярск
1992

В.П.Сургутский, Н.И.Ковалев. Физико-химические и коллоидные явления в технологии продуктов общественного питания. Вып. I. Диффузия. Капиллярные явления. Фазовые переходы и фазовые равновесия (кипение, испарение, дистилляция, кристаллизация, экстракция). Адгезия. Учебное пособие. Под ред. проф. Н.И.Ковалева, 1992, 54 с.

Учебное пособие предназначено для студентов технологического факультета торговых вузов.

В учебном пособии рассмотрены общие законы и "краевые" условия диффузии в пищевых продуктах, капиллярные явления, фазовые переходы и фазовые равновесия в пищевой технологии и кулинарии. В пособие вошел также материал о роли адгезии в технологии продуктов общественного питания.

В учебном пособии 15 рис., 1 табл.

Рецензенты: к.т.н., доцент Мирзоев А.М.

к.т.н., доцент Типсина Н.Н.

О г л а в л е н и е

I. Общие законы и краевые условия диффузии пищевых веществ	3
I.1. Диффузия при тепловой обработке	9
I.2. Диффузия и осмос	11
2. Капиллярные явления	18
3. Фазовые переходы и фазовые равновесия в пищевой технологии и кулинарии	25
3.1. Кипение	26
3.2. Испарение и дистилляция	29
3.3. Кристаллизация	35
3.4. Эмульсо- и криоскопические явления	41
3.5. Экстракция и экстрактивные вещества	43
4. Адгезия	48

Заказ №1901. Тир. 200 экз. Тип. "Сибирь".
Цена договорная.

Пищевые продукты в большинстве своем являются биологическими объектами. Многие происходящие в них процессы определяются особенностями клеточной структуры, спецификой биологических мембран, биохимическими и химическими изменениями структурных элементов, морфологическим строением и другими факторами, отличающими их от однофазных и многофазных систем неживой природы. Поэтому механически переносить физико-химические законы на процессы, происходящие при кулинарной обработке продуктов, нельзя. Однако в основе их лежат очень важные для технологов закономерности, изучаемые в курсе физической и коллоидной химии. Это такие явления как диффузия, капиллярность, фазовые переходы и др.

1. Общие законы и "краевые" условия диффузии пищевых веществ

В технологических процессах предприятий общественного питания важное место занимает массообмен. Массообмен - явление переноса вещества в пределах одной или нескольких фаз, лежащее в основе процессов разделения смесей /сорбция и десорбция, дистилляция и ректификация, экстракция, сушка, растворение и кристаллизация/.

Интенсивность массообмена, или диффузионный поток q_D прямопропорционален движущей силе процесса ΔC , т.е. $q_D = K \cdot \Delta C$, где K - коэффициент массопередачи. Движущая сила процесса ΔC может быть выражена через разность концентраций, разность парциальных давлений, разность температур и т.д.

В двухфазных системах необходимо учитывать механизм переноса вещества через границу раздела фаз. Различают два механизма переноса вещества: молекулярную диффузию, определяемую законами взаимодействия молекул /микрокинетика/, и турбулентную диффузию, определяемую законами макрокинетики. В неизотермических условиях в однофазных системах может иметь место термодиффузия.

Диффузия /от латинского *diffusio* - распространение/ - это самопроизвольный процесс переноса вещества, приводящий к установлению равновесного распределения концентраций в результате беспорядочного теплового движения молекул, атомов, ионов и коллоидных частиц в газах, жидкостях или твердых телах.

В однокомпонентной системе процесс установления равновесно-

го распределения концентраций называется самодиффузией и выражается в самом тепловом движении частиц этого вещества.

В многокомпонентных фазах /фазах переменного состава - в газовых, жидких или твердых растворах/ диффузия иногда называется гетеродиффузией, представляющая собой процесс направленного переноса вещества в сторону выравнивания разностей концентраций в различных участках данной фазы при постоянной температуре.

Скорость диффузии зависит от плотности и вязкости среды, природы диффундирующих частиц, температуры, воздействия разного рода внешних сил и т.д. В газовых средах диффузия протекает достаточно быстро, в растворах медленнее и еще медленнее - в твердых телах. С повышением температуры скорость диффузии всегда возрастает, причем у твердых тел в значительно большей мере, чем у жидкостей или газов.

Любая частица движется неупорядоченно, ее траектория - ломаная линия с точками перелома в местах столкновений с другой частицей. В этом случае смещение частицы до определенного места в пространстве происходит много медленнее, чем при ее смещении при прямолинейном движении. При этом масса переместившегося вещества определяется коэффициентом диффузии D . Коэффициент диффузии определяет собой количество вещества, продиффундировавшего через единицу площади за единицу времени при градиенте концентрации, равном единице. Коэффициент диффузии является константой, не зависящей от времени и глубины проникновения диффундирующего вещества в некотором диапазоне концентрации.

В растворах диффузия определяется законом Фика:

$$I = D \cdot \Delta C \cdot F$$

где I - поток диффузии /г/м² сек или кг/м² сек/;
 ΔC - градиент концентрации /г/м³ или кг/м³/;
 D - коэффициент диффузии /м²/сек/;
 F - площадь раздела /м²/.

Строго этому закону подчиняются диффузионные процессы в однородных средах. В пищевых же продуктах они значительно осложнены особенностями структуры.

Диффузия играет огромную роль в процессах жизнедеятельности клеток и тканей организмов: всасывание продуктов пищеварения из кишечника, поглощение минеральных веществ корнями из почвы

и т.д. Различная скорость диффузии ионов через клеточные мембраны - один из факторов избирательного накопления веществ в клетках организма, которая во многом определяет состав пищевых продуктов.

Проникновение веществ в клетки /или удаление из них/ подчиняется закону Фика, но коэффициент диффузии в данном случае должен быть заменен коэффициентом проницаемости мембраны, а градиент концентраций - разностью концентраций по обе стороны мембраны.

Диффузионное проникновение в клетку газов и воды /осмос/ также подчиняется закону Фика, с той лишь разницей, что ΔC заменяется разностью осмотических давлений. Это относится к диффузии через нейтральные мембраны /семенных и плодовых оболочек, аморфные структуры и др./ и называется простой диффузией, подчиняющейся видоизмененному закону Фика. Так перемещаются вещества с малыми размерами частиц /вода, минеральные вещества/.

Диффузия через заряженные мембраны является ограниченной. Такая мембрана задерживает даже движение частиц малого размера. Например, этим можно объяснить слабое проникновение в клетку анионов.

Наконец, в биологических объектах может происходить облегченная диффузия: перенос ионов и молекул, самостоятельно не проникающих или слабо проникающих через мембрану. При этом такие частицы проникают через мембрану с помощью молекул-переносчиков. Так диффундируют через клеточные оболочки сахара, аминокислоты и другие вещества. Перенос вещества определяется в этом случае градиентом концентраций молекул-переносчиков, а сам процесс называется обменной диффузией.

Учитывая огромную роль диффузионных процессов в технологии пищи /экстракция пищевых веществ из разнообразных продуктов, вымачивание соленой рыбы и др./ технолог должен знать эти процессы более подробно, чем это обычно освещается в учебных курсах.

Рассмотрим некоторые факторы, определяющие диффузионные процессы при изготовлении разнообразных пищевых продуктов.

Процессы экстракции питательных веществ из различных продуктов определяются в первую очередь характером самого продукта и происходящими обменными процессами, которые зависят, в том числе, от разности концентраций извлекаемого вещества в продук-

те и окружающей среде. Если концентрация его в продукте и окружающей среде оказывается равной — диффузия прекращается. В этом случае количество извлекаемого вещества зависит от объема окружающей жидкости и от растворимости вещества: чем меньше эти величины, тем меньше извлекается вещества. Поэтому при варке овощей, мяса и рыбы стараются ограничить объем воды. Наоборот, при необходимости как можно более полно удалить растворимые компоненты, в том числе вредные или ненужные, — ее берут больше /вымачивание почек, соленой рыбы и пр./ или чаще меняют. Естественно, что скорость извлечения веществ будет определяться также температурой: в холодной воде вымачивание происходит медленнее, чем при комнатной.

Концентрационный поток, согласно закону Фика, определяет и площадь раздела фаз. Поэтому и вполне закономерно, что скорость диффузии зависит от величины поверхности /размеров/ составных частей пищевого продукта, подвергаемого обработке. Чем меньше размер их, тем больше удельная поверхность и диффузионные процессы в этом случае более выражены. Так, например, из целых клубней картофеля при их хранении в воде /с целью предотвращения потемнения/ за один час извлекается 0,07—0,16% растворимых веществ, в том числе 0,01—0,02% минеральных веществ /от массы продукта/, а из нарезанных кубиками /3х3х3 см/ — соответственно 0,47—0,49 и 0,04—0,06%.

Однако процессы извлечения питательных веществ в системах, где важными факторами являются диффузионные явления, нельзя рассматривать упрощенно и сводить их лишь к извлечению вещества из граничного слоя. Процессы здесь достаточно осложнены тем, что скорость диффузии будет зависеть от величины двух взаимосвязанных величин: коэффициентов внутренней и внешней диффузии. Возникают так называемые "краевые" условия диффузии.

Жидкость, окружающая продукт, например при варке или промывке в проточной воде, находится в турбулентном движении /рис. 1а/. Однако вблизи поверхности продукта, благодаря силам молекулярного сцепления, образуется слой с ламинарным движением жидкости. В этом слое концентрация вещества убывает по мере удаления от поверхности до границы краевого слоя /рис. 1б/. Таким образом, здесь создается "краевые" условия диффузии, подчиняющиеся теории подобия /теории теплопередачи и диффузии веществ подобны, многие явления как при теплопередаче, так и

диффузии определяются общими закономерностями/.

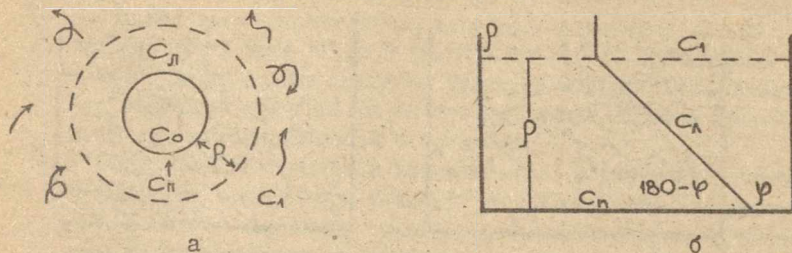


Рис. 1. Краевые условия диффузии пищевых веществ

- P - толщина краевого слоя;
- C_0 - концентрация в продукте;
- $C_п$ - концентрация на поверхности;
- $C_л$ - концентрация в ламинарном слое;
- C_T - концентрация в окружающей среде.

С термодинамической точки зрения диффузия вещества определяется стремлением системы перейти в равновесное состояние. В начальный период экстракции система стремится к выравниванию концентраций диффундирующих веществ в твердой и жидкой фазе. Поток диффузии направлен от твердого тела в жидкость. Мы имеем дело с концентрационной диффузией /рис. 2а/. При равенстве концентраций диффундирующих веществ в твердой и жидкой фазе поток диффузии прекращается. В неизотермических условиях перенос вещества будет осложнен термодиффузией, обусловленной разностью температур /рис. 2б/. Термодиффузия проявляется главным образом в газовой смеси /или жидком растворе/, помещенной между горячей и холодной стенками.

Чтобы перейти из продукта в ламинарный слой жидкости, вещество должно в толще продукта диффундировать к его поверхности. В стационарных условиях поток внешней диффузии равен потоку внутренней диффузии. В общем случае концентрация диффузионного потока будет определяться коэффициентом внутренней диффузии, который обычно меньше по величине, чем коэффициент внешней диффузии. Поэтому диффузия экстрагируемого вещества изнутри к граничной поверхности будет лимитирующей стадией. При равенстве указанных коэффициентов экстракция вещества из твердого продукта облегчена /рис. 3 а, б/.

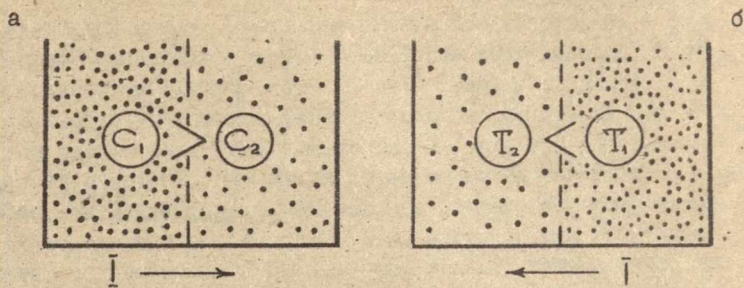


Рис. 2. Направление потоков диффузии:
а - концентрационная диффузия;
б - термодиффузия.

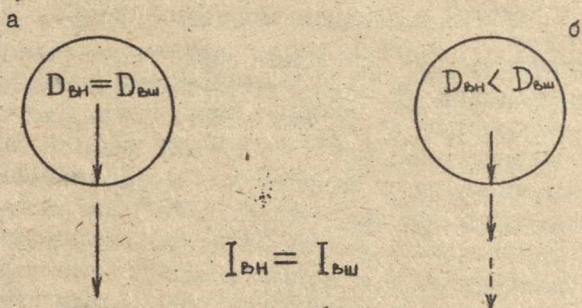


Рис. 3. Экстракция вещества и соотношение коэффициентов внутренней и внешней диффузии

Исходя из граничных условий, можно написать следующее уравнение для потока внешней диффузии:

$$I_{вн} = -D_{вн} \text{вн} \left(\frac{dc}{dx} \right)_n = -D_{вн} \text{вн} \text{tg} \varphi = D_{вн} \text{вн} \text{tg}(180^\circ - \varphi) =$$

$$= D_{вн} \text{вн} \frac{C_{II} - C_I}{\rho} \quad /I/$$

где $C_{II} - C_I$ - градиент концентрации вещества по расстоянию, ρ - толщина слоя диффузии.

Соотношение /I/ позволяет, например, сделать вывод, что при размере кусков больше определенной величины, скорость диффузии не зависит от объема воды или от скорости ее потока /при поточ-

ном вымачивании/. Опытным путем установлено, что для большинства овощей таким определяющим размером является 2 см /2x2/, а толщина куска рыбы около 3 см. При размерах, превышающих эти величины, диффузионные процессы будут лимитироваться /определяться/ миграцией компонентов из его глубинных слоев к граничным, т.е. внутренней диффузией в продукте.

Исследование процессов влагопереноса и диффузии растворимых питательных веществ при тепловой обработке овощей позволило Н.И. Ковалеву перенести основные физические критерии переноса веществ при диффузии на кулинарные процессы, и теоретически объяснить многие, выработанные практикой, приемы кулинарной обработки, найти для них наиболее рациональные режимы и сделать ряд рекомендаций по интенсификации технологических процессов термической обработки овощей.

1.1. Диффузия при тепловой обработке

В процессах кулинарной обработки продукты обычно подвергаются нагреванию /варка, жарка, тушение, припускание, запекание/. При этом в продуктах или кулинарных изделиях создаются значительные температурные перепады, и, естественно, возникает изменение влажности продукта /влагосодержания/ и массоперенос.

Необходимо отметить, что применительно к пищевым продуктам понятие массосодержание и влагосодержание неоднозначны. Дело в том, что капиллярно-пористый скелет твердой основы пищевых продуктов заполнен не чистой водой, а раствором /солей, экстрактивных и коллоидных веществ и т.д./.

В технологии приготовления пищи важно, что вместе с влагой перемещаются и содержащиеся в ней растворенные вещества. При этом возможны два случая:

- а. изотермический /при постоянной температуре/ перенос растворенных веществ, или концентрационная диффузия /рис. 2а/;
- б. неізотермический перенос под влиянием перепада температур, или термодиффузия /рис. 2б/.

Явление неізотермического переноса менее изучено. Это явление было открыто еще в конце прошлого века Людвигом и Соре и названо эффектом Соре.

При вымачивании продуктов /мясо, соленая рыба и пр./ осуществляется в основном процесс изотермического переноса содержа-

щихся веществ /транспорт их из глубинных слоев к граничным и экстракция/. При тепловой их обработке возникает термодиффузия и появляется встречный поток растворенного вещества. Эффект Соре заключается в том, что при температурном перепаде /между граничными слоями продукта и температурой его в центре/ возникает поток растворенного вещества от нагретой части продукта к более холодной, а при варке /жарке и т.д./ от более нагретой поверхности продукта - вглубь, в холодную зону.

Этим объясняется тот факт, что при погружении в горячую воду овощей перед варкой резко уменьшаются потери минеральных веществ, органических кислот и других растворимых веществ.

Конечно, уменьшение потерь сахаров при варке, например, картофеля с погружением в горячую воду легко объяснить инактивацией амилаз: при повышении температуры они сразу инактивируются, меньше образуется сахара из крахмала и уменьшаются его потери. Уменьшение потерь витамина С также можно легко объяснить инактивацией в горячей воде аскорбатоксидазы, что снижает интенсивность окисления аскорбиновой кислоты. Однако потери минеральных веществ не связаны с ферментативными процессами и могут быть объяснены только эффектом Людвига и Соре.

Концентрационная диффузия и термодиффузия создают поток растворенного вещества, равный разности этих двух противоположно направленных потоков: $I = -D_c \cdot \Delta C - D_t \cdot \Delta t$, (2)
где

D_c - коэффициент концентрационной диффузии;

ΔC - градиент концентрации;

D_t - коэффициент термодиффузии;

Δt - градиент температур.

Таким образом, суммарно процесс переноса веществ внутри пищевого продукта будет определяться соотношением концентрационной и термической диффузии.

Многие пищевые системы являются коллоидными растворами, в которых также проявляется диффузия, обусловленная броуновским движением. При этом важную роль играет вязкость дисперсионной среды, форма коллоидных частиц и их радиус.

Диффузионные процессы осложняются и изменением коллоидного состояния пищевых веществ при нагревании. Так, при нагревании выше 60°C крахмалсодержащих продуктов происходит клейстеризация: зерна крахмала поглощают влагу, что затрудняет диффузию,

несмотря на то, что при клейстеризации увеличивается количество растворимой низкомолекулярной амилозы. Высокая температура способствует также разрушению клеточных стенок, что должно бы облегчить диффузию; но этого не происходит за счет значительного увеличения вязкости в системе и формы частиц.

При варке мяса и рыбы основными являются не диффузионные процессы, а денатурация белков: вследствие их денатурации коллагеновые волокна "свариваются"/сокращаются в длину/ и влага выпрессовывается вместе с растворенными в ней веществами.

Конечно, основными процессами при кулинарной обработке являются физико-химические изменения, происходящие в продуктах, но без учета термомассопереноса невозможно объяснить процессы, происходящие при их термической обработке. В истолкования этих практически важных явлений оказалась плодотворной и теория переноса вещества в капиллярно-пористых коллоидных телах.

1.2. Диффузия и осмос

Важное практическое значение в технологии пищевых продуктов играют осмотические явления /осмос/. Осмос как физическое явление — это диффузия через полупроницаемую перегородку, разделяющую раствор и чистый растворитель или два раствора различной концентрации. Осмос приближает систему к равновесию в результате выравнивания концентраций по обе стороны перегородки за счет того, что через нее могут проникать только молекулы растворителя. Таким образом, возникновение диффузии и осмоса имеет одну и ту же причину — выравнивание концентрации. Однако способы выравнивания резко различны. Диффузия осуществляется перемещением молекул растворенного вещества, а осмос — перемещением молекул растворителя и возникает только при наличии полупроницаемой перегородки.

Роль такой полупроницаемой перегородки в растительных и животных клетках играет мембрана. Процессы усваивания пищи, обмена веществ зависят от различной проницаемости тканей для воды и тех или иных растворенных веществ. Обменные процессы в растительных тканях также определяются осмосом. Когда растение соприкасается непосредственно с водой, то молекулы ее проникают внутрь клетки. Объем раствора в клетке увеличивается, возникает давление, называемое осмотическим. При этом растительная ткань приобретает прочность и упругость. При от-

мирании клеток цитоплазма теряет свои функции, растение лишается упругости и увядает. Потеря влаги уменьшается при пониженных температурах и повышенной влажности. Поэтому для сохранения товарного вида растительного сырья кулинары хранят его увлажненным или в холодильном шкафу. Легко теперь объяснить, почему после принятия пищи у нас возникает жажда - появляется потребность организма восстановить нормальное осмотическое давление в клетках.

Явления осмоса и диффузии широко используются в пищевой технологии, например, при получении диффузного сока в свеклосахарном производстве. При этом свекловичную стружку помещают в нагретую до 60°C воду, протоплазма свертывается, в результате чего она теряет способность задерживать частицы клеточного сока. Процесс осмоса заменяется обычной диффузией - растворенные вещества клеточного сока диффундируют изнутри клетки в воду. В процессе производства диффузного сока оптимальная температура должна быть не выше 80°C , иначе в раствор диффундируют из свеклы, кроме сахарозы, и другие вещества.

В молочной промышленности принят метод консервирования, основанный на влиянии осмотического давления на сохранность продукции, называемый "сгущением" молока. В сгущенном молоке, содержащем 17-18% сахара, осмотическое давление значительно выше, чем в бактериальной клетке. Следствием этого является прекращение жизнедеятельности бактерий, что и объясняет стойкость сгущенного молока с сахаром в течение длительного времени.

С явлением диффузии мы встречаемся и при консервировании других продуктов, используя концентрированные растворы поваренной соли или сахарозы.

При консервировании, например, плодов и овощей в концентрированных растворах этих веществ осуществляется диффузия воды из клетки в раствор, т.к. осмотическое давление внешнего раствора больше, чем давление внутри клетки. Потеря воды ведет к уменьшению объема клетки, нарушает нормальное течение физических и химических процессов в ней. Это явление называют плазмолизом.

Поваренная соль, используемая при солении или квашении овощей, вызывает плазмолиз растительных клеток, нарушает полупроницаемость клеточных оболочек. В результате происходит выделение клеточного сока, содержащего сахара. Эти сахара слу-

жат основой для молочнокислого брожения. Молочная кислота придает продукту специфический вкус и, являясь антисептиком, подавляет деятельность других микроорганизмов, вызывая их плазмолиз, задерживает их развитие и является консервирующим агентом.

Аналогичные процессы осуществляются при варке плодов /варенья/. При этом важно выбрать режим варки: необходимо равенство скорости удаления воды и скорости диффузии сахара в плодовую ткань — тогда плоды после варки не сморщиваются, сохраняют мягкость, свой начальный объем и вид. Это достигается подбором консервирующего раствора соответствующей концентрации. Для сохранения товарного вида продукции важен также температурный режим варки и ее продолжительность.

Диффузионные процессы играют важную роль при организации хранения пищевого сырья. В настоящее время для хранения некоторых пищевых продуктов используют измененные газовые среды — с пониженным содержанием кислорода и повышенным содержанием углекислого газа. Вариантом хранения в регулируемой газовой среде является использование полиэтиленовых пленок, что позволяет модифицировать газовую среду. Важную роль при этом играет избирательная /селективная/ проницаемость пленок для тех или иных компонентов газовой среды. Диффузия через полупроницаемую перегородку /пленку/ имеет важное значение при подборе материалов, обеспечивающих дыхание плодов и овощей, помещенных в замкнутый объем.

Газопроницаемость полимеров /например, в виде пленок/ является результатом последовательно протекающих процессов растворения газа в пограничном слое пленки, диффузии газа через полимер и выделения газа с другой стороны пленки. Она определяется как $P = D(C_1 - C_2)/h$, где P — коэффициент газопроницаемости, D — коэффициент диффузии, $C_1 - C_2 = -\frac{dc}{dx}$ — градиент концентрации газа в толще полимера. Коэффициент проницаемости полимера P показывает сколько см^3 /при 0°C / проходит через 1 см^2 полимерной пленки толщиной в 1 см за 1 сек при разности давлений газа в 1 атм . Газопроницаемость полимера зависит от гибкости цепных макромолекул, от физического состояния полимера, от природы диффундирующих веществ. С уменьшением гибкости молекул, с ростом межмолекулярных сил и плотности упаковки полимера газопроницаемость уменьшается. Наиболее газопроницаемыми полимерами являются полисилоксаны.

Явление газовой диффузии имеет место и при открытом хранении пищевых продуктов и кулинарных блюд. Некоторые пищевые продукты могут терять при хранении ароматические вещества, либо приобретать нежелательный вкус и запах. Это происходит вследствие диффузии ароматических веществ во внешнюю среду, либо в результате поглощения продуктом летучих веществ, выделяющихся из хранящегося рядом товара. Товары, обладающие сильно выраженным запахом и легко отдающие его в окружающую среду /сыры, мясокопчености и др./, нельзя хранить рядом с продуктами, легко поглощающими этот запах /сливочное масло, кондитерские изделия/. Продукты, содержащие ароматические вещества /чай, кофе, пряности/, должны быть упакованы в газонепроницаемую тару.

Явление диффузии и осмоса лежит в основе некоторых физико-химических и физических методов, используемых для обезвоживания пищевых продуктов, их концентрирования и отделения ненужных или вредных веществ. Так, например, перспективной является сушка плодов осмотическим обезвоживанием. Сущность ее состоит в том, что кусочки плодов выдерживают в крепком теплом сахарном сиропе, при этом происходит переход воды из клеток плодов в окружающую среду /явление осмоса/. Переход же сахара из сиропа незначителен. Хорошо поддаются осмотическому обезвоживанию нарезанные фрукты. Концентрация сахара в сиропе должна быть не менее 70%. По окончании процесса плоды отделяют от сиропа и досушивают до содержания в них влаги 10%. Высушенные плоды отличаются хорошим ароматом, имеют светлую окраску и могут быть использованы как готовое десертное блюдо.

Мембранная технология. В настоящее время широко развернута работа по внедрению и освоению безотходных технологий на основе использования мембранной техники. В основе этих технологий лежат процессы разделения и концентрирования продуктов переработки в пищевой промышленности. Мембранные методы разделения смесей, в частности диализ, электродиализ, обратный осмос и ультрафильтрация, обладают рядом существенных преимуществ перед такими известными приемами разделения, как экстракция, дистилляция, ионный обмен и др.

Наиболее широко в пищевой промышленности используются процессы обратного осмоса и ультрафильтрации. В указанных методах применяются полупроницаемые инертные мембраны. Процесс обратного

осмоса и ультрафильтрации основан на разности гидродинамического и осмотического давлений.

Сущность ультрафильтрации заключается в том, что сырье /например, обезжиренное молоко или сыворотка/ непрерывным потоком с определенными скоростью и давлением движется над полупроницаемой мембраной, через которую отсеиваются такие низкомолекулярные фракции, как вода, лактоза, а высокомолекулярные — молочные белки остаются в растворе над мембраной. В данном случае такой метод разделения позволяет извлекать из молочного сырья белок, который хорошо усваивается организмом и содержит незаменимые аминокислоты.

Пищевые жидкие продукты представляют собой сложные по составу и физико-химическим свойствам растворы, при обработке которых необходимо сохранить витаминную и пищевую ценность, вкус и аромат исходного растительного и животного сырья. Внедрение мембранной технологии в пищевую промышленность позволяет решить эти задачи, т.к. важной особенностью мембранных процессов является то, что они протекают без фазовых изменений среды и при температуре окружающей среды.

В настоящее время мембранные процессы могут найти широкое применение в следующих отраслях пищевой промышленности: концентрирование фруктовых и овощных соков, экстрактов чая, кофе, цельного и обезжиренного молока, мясных и рыбных бульонов, ферментов; стабилизация и осветление соков, пива, безалкогольных напитков, виноматериалов, сиропов; извлечение и концентрирование аминокислот, жиров, углеводов, органических кислот; деминерализация белковых гидролизатов, молочной сыворотки, рассолов; подготовка технологической воды в производстве пиво-безалкогольных напитков, коньяков; разделение и выделение конечных продуктов биотехнологических производств, фруктозо-глюкозных сиропов; очистка сточных вод предприятий пищевой промышленности; создание регулируемого состава атмосферы для хранения овощей, фруктов, чайного листа. Из перечисленных проблем многие уже реализуются на практике.

Основным рабочим материалом в рассматриваемой технологии является мембрана. Основными характеристиками применяемых мембран являются селективность и проницаемость, а основными факторами, влияющими на эти свойства, являются давление, температура, значение pH, а также турбулентность потока.

Для изготовления полупроницаемых и ионообменных мембран используются полимерные материалы в виде пленок, капилляров, толщиной стенки 0,5 мм и диаметром 1-2 мм, полые волокна диаметром до 0,2 мм. В качестве полимерных материалов для мембран служат эфиры целлюлозы, полиамид, полисульфон, поликарбонат и другие.

Использование разнообразных материалов позволяет создать широкий ассортимент мембран для работы в различных эксплуатационных условиях /давление, состав растворов, температура, pH и т.д./.

Задачи, которые могут быть решены с помощью мембранных разделительных процессов, как мы видели ранее, весьма разнообразны. Это определило и необходимость создания мембран с высокой селективностью, что является весьма "тонким" делом. В настоящее время в нашей стране и за рубежом в различных областях пищевой промышленности функционирует несколько десятков тысяч мембранных установок. Современные промышленные мембранные установки работают по "модульной" системе, что позволяет варьировать объем производства, обеспечить непрерывность работы, быструю замену фильтрующих элементов без остановки технологического процесса. Эти факторы, а также возможность комбинирования мембранных процессов в сочетании с другими методами позволили создать принципиально новые технологические схемы.

Так, предложены способы концентрирования белков молока, производства молочных продуктов, не содержащих лактозу, а также различные приемы обработки молочных полупродуктов в производстве сыров, что позволило на 15-20% увеличить их выход и на 75-80% сократить расход сычужного фермента.

Ультрафильтрационная обработка сырого сахарного сока дает не только чистый, свободный от коллоидов фильтрат, но в сочетании с электродиализом позволяет одновременно выделять ценные несахара, например, вещества азотсодержащего комплекса.

Использование полупроницаемых мембран высокой селективности позволяет получить чистый концентрированный сахарный раствор до 30-33% СВ, что дает возможность значительно упростить технологию сахарного производства.

Обратноосмотический процесс оказался особенно эффективным при концентрировании яичного белка, поскольку в отличие от других традиционных способов в нем не наблюдается денатурирования протеинов и конечный продукт содержит 30% белка. Применение мем-

бренных методов при переработке различных видов белковых гидролизатов особенно эффективно, т.к. исключается денатурация белков и полностью сохраняются такие незаменимые аминокислоты, как триптофан, лизин, метионин.

Ультрафильтрация позволяет удалить из яблочного сока 19-32% пектиновых веществ, 9,5-18% белковых веществ и 38-45% коллоидов. Осветленный продукт получают с высокими вкусовыми качествами, основные компоненты химического состава сока /сахар, кислоты, рН, минеральный состав/ не изменяются.

Метод ультрафильтрации эффективно используется для концентрирования пектиновых веществ. Существующая технология получения пектинов является многостадийной /экстракция, кислотный гидролиз, осаждение пектина, регенерация/. Мембранная технология позволила удалять 75-85% посторонних примесей, сократить цикл производства, повысить качество. Этот метод используется и для очистки других соков. Например, виноградный сок очищают от конденсированных полифенолов и белков, в результате чего резко повышается прозрачность соков.

Весьма эффективна ультрафильтрация при концентрировании соков. При термической обработке многие полезные свойства соков могут быть утрачены. Ультрафильтрация позволяет сохранить вкус, запах и другие качества натурального сока. По этой причине мембранный процесс более целесообразен, чем выпаривание или вымораживание.

Перспективно сочетание методов ультрафильтрации и обратного осмоса, например, в обработке виноматериалов. При этом достигается стабилизация против белковых помутнений и выпадения винного камня, снижается содержание SO_2 . Процесс не влияет на качественные показатели вин. Селективными мембранами можно и регулировать состав напитков.

Наконец, ультрафильтрация позволяет обеспечить бактериальную защиту пищевых продуктов. Так, например, мембранная фильтрация позволяет получить ультрафильтрат, практически не содержащий микроорганизмов. По сравнению с исходным молоком полученный продукт содержит на 99,99% меньше микроорганизмов.

Таким образом, мембранные методы обработки пищевых продуктов являются экономически выгодными и перспективными процессами; их применение позволяет получать продукцию высокого качества и без утраты ее органолептических свойств.

2. Капиллярные явления

Капиллярные явления обусловлены действием поверхностного натяжения на границе раздела несмешивающихся сред /чаще всего твердого тела и жидкости/. Проявляются эти явления при заполнении жидкостью пустотных полостей малого диаметра.

Капиллярные явления связаны с искривлением поверхности жидкости вблизи твердой стенки вследствие смачивания /вогнутый мениск/ или несмачивания /выпуклый мениск/. На таких искривленных жидких поверхностях со средним радиусом кривизны r возникает поверхностное натяжение /свободная поверхностная энергия/ δ , вызывающее добавочное давление, называемое капиллярным $p_c = \frac{2\delta}{r}$, направленное в сторону радиуса кривизны. Для выпуклой поверхности p_c - положительно, для вогнутой - отрицательно.

Капиллярное давление - причина ряда важнейших капиллярных явлений. Таковы прежде всего явления поднятия и всасывания жидкостей в узкие капилляры или поры со смачиваемыми стенками и опускание жидкостей или выталкивание из узких пор в случае несмачивания.

Если опустить в воду стеклянный капилляр, то вода поднимется по капилляру и остановится на некоторой высоте h /рис.4/. Высота капиллярного поднятия / h / зависит от радиуса капилляра / r /, поверхностного натяжения / δ / и плотности жидкости / d /

$$h = \frac{2\delta}{r \cdot d \cdot g}$$

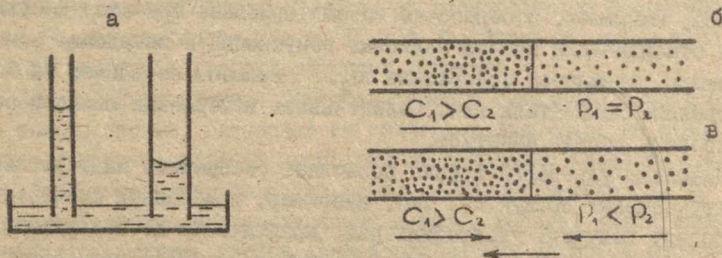


Рис. 4. Явление капиллярности:

- а - высота капиллярного поднятия жидкости в зависимости от радиуса капилляра;
- б - концентрационная зависимость перемещения жидкости в горизонтальном капилляре;
- в - перемещение жидкости в капилляре под действием результирующей сил.

Направление передвижения жидкости в горизонтальном капилляре определяется многими факторами, в том числе различиями в концентрациях растворенных веществ и разницей в давлениях и температурах на концах капилляра /рис. 4 б, в и 5б/.

Чтобы понять эти процессы обратимся к эксперименту. Если капилляр имеет одинаковый диаметр по всей длине, то влага в нем будет находиться в равновесии /рис. 5а/, т.к. на нее действуют две противоположно направленные равные силы капиллярного давления.

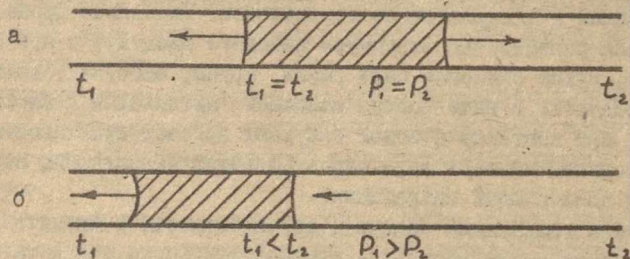


Рис. 5. Массоперенос вещества в капилляре:

- а - равновесное состояние жидкости;
б - движение жидкости при температурном градиенте.

Если один конец капилляра нагреть, то с этой стороны уменьшится поверхностное натяжение, уменьшится также и капиллярное давление, а с другой стороны оно останется прежним и жидкость начнет передвигаться от нагретой зоны к холодной /рис. 5б/. В случае, если капилляр имеет разные диаметры, жидкость в нем будет перемещаться от конца большего диаметра к концу с малым диаметром /рис. 6а/.

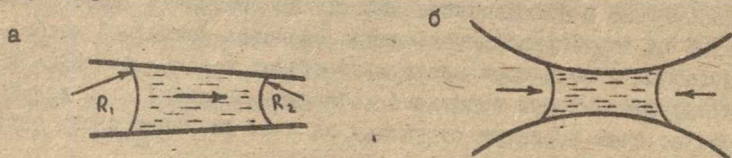


Рис. 6. Перемещение жидкости в капиллярах разного диаметра:

- а - перемещение в результате сужения капилляра;
б - равновесное состояние жидкости.

Практическая значимость рассматриваемых явлений для технолога может быть проиллюстрирована рядом примеров. Большинство пищевых продуктов являются капиллярно-пористыми, поэтому капиллярные явления в технологии пищи и кулинарии играют большую роль. Ими обусловлено впитывание воды сухарями, печеньем, крупами, бобовыми. Значительная часть влаги в пищевых продуктах содержится в капиллярах, что определяет сочность продукта.

Различные градиенты пищевого сырья /белки, углеводы, минеральные вещества и пр./ в процессе производства продуктов общественного питания претерпевают существенные изменения, что связано с их гидратацией и экстрактивным извлечением. Указанные процессы определяются развитостью структуры пищевого продукта и его природой. Так, сухие белковые гели /муки, крупы, бобовых/, содержащиеся в продуктах в виде частиц высохшей цитоплазмы и алейроновых зерен, при контакте с водой набухают за счет проникновения в глубь продукта молекул воды через развитую капиллярную систему ходов и последующей гидратации.

От степени гидратации белков и других веществ в значительной степени зависят такие важнейшие органолептические показатели, как сочность, вкус, консистенция. Наряду с адсорбционной водой, связанной белками, в пищевых продуктах содержится большое количество осмотически и капиллярно связанной воды, которая также оказывает существенное влияние на качество продуктов, выработанных на предприятиях общественного питания.

На качество полуфабрикатов и готовых изделий из рубленой массы оказывает влияние ряд технологических факторов: степень измельчения, водосвязывающая способность, количество добавляемых компонентов, их природа. При измельчении мышечной ткани возрастает физическая поверхность частиц, что приводит к увеличению адсорбционно связанной воды и впоследствии проникновению ее внутрь продукта.

Добавление в измельченное мясо хлеба оказывает существенное влияние на структурно-механические свойства котлетной массы - добавляемый в котлетную массу хлеб служит хорошим водопоглощающим материалом. При этом хлеб добавляет черствый - он дольше сохраняет свою пористую структуру за счет фиксации своей структуры, что способствует впитыванию влаги.

В процессе промывания и замачивания круп выщелачиваются пищевые вещества и крупы поглощают воду. Количество поглощенной воды

/водопоглощительная способность круп/ зависит от продолжительности замачивания, от структуры ядер, их мучнистости и стекловидности. При замачивании происходит набухание белковых веществ семян, углеводов клеточных клеток и крахмала. Замачивание производят для сокращения сроков варки, оно способствует сохранению формы семян. Все эти процессы определяются, в первую очередь, материалом продукта и развитостью его капиллярной системы.

Интересно, что потери некоторых питательных веществ, например, витаминов при замачивании в мягкой воде больше, чем в жесткой. Объясняют это тем, что высокая ионная концентрация кальция и магния в жесткой воде уменьшает степень размягчения растительной ткани за счет инкрустирующего действия этих ионов на капилляры семенных оболочек.

Капиллярными явлениями обусловлено, например, очень любопытное явление, происходящее при соприкосновении двух продуктов, структуры которых характеризуются капиллярными системами разных диаметров.

Так, например, иногда влажность фарша бывает меньше, чем влажность теста, и, несмотря на это, при выпечке соответствующих изделий влага перемещается и поглощается более влажным тестом. Это вызывает еще большее его увлажнение.

Отмечаемое явление объясняется разницей капиллярного давления, создаваемого различием в капиллярных диаметрах у частиц продуктов, составляющих изделия. Чтобы избежать увлажнения теста за счет фарша, кулинары прокладывают в кулебяках между тестом и фаршем готовые выпеченные блинчики.

Не менее интересные явления происходят при возникновении в продукте градиента температур. Наблюдается, казалось бы, парадоксальное явление: влажность в центре выпеченной булочки становится больше, чем была у сырого теста. Здесь также проявляются капиллярные явления, но характерные уже для термодиффузии.

При выпечке или жарке продукции под влиянием градиента температур осуществляется массоперенос влаги от более нагретой поверхности /корочка/ к центру изделия /менее прогретому/. Поэтому нет ничего удивительного, что изделие имеет повышенную влажность в центре.

Массообмен тем интенсивнее, чем выше градиент температуры. Поэтому, чтобы получить сочное изделие, кулинары жарят мясо и рыбу на предварительно разогретой сковородке. При этом обеспечивается высокий градиент температуры и перенос влаги в центр

изделия.

Явление массопереноса – одна из причин появления обезвоженной корочки на продуктах при выпечке и жарке мясных, рыбных и мучных изделий. При жарке и выпечке изделий вначале удаляется влага с поверхности за счет испарения. Благодаря разнице концентраций воды в поверхностных и глубинных слоях, возникает концентрационный поток воды к поверхности. Но, с другой стороны, под влиянием градиента температуры возникает обратный поток влаги от нагретой поверхности к центру. Постепенно, по мере прогревания изделия, уменьшается градиент температуры – уменьшается и влагоперенос внутрь, но продолжается приток ее изнутри. При достижении равенства потоков оба процесса уравниваются и возникает обезвоженный слой определенной толщины /корочка/. Температура в этом слое будет больше 100°C , и начнутся пирогенетические процессы, обуславливающие вкус и аромат поджаренной корочки /образование декстринов, продуктов реакции Майяра и т.д./.

При приготовлении пищи возможны два случая внешнего массообмена:

- а. между нагреваемым телом и газовой средой;
- б. между нагреваемым телом и жидкой средой, обычно водой.

Первый случай имеет место при жарке, запекании и выпекании кулинарных изделий. При этих процессах массообмен приводит к уварке продуктов за счет их обезвоживания.

Второй случай внешнего массообмена имеет место при варке, бланшировании и припускании продуктов. При этом массообмен сводится в основном к диффузии во внешнюю /жидкую/ среду растворенных во внутренней жидкости веществ или выделению влаги вместе с растворенными в ней веществами. Здесь диффузия осложнена явлением термомассообмена.

Капиллярно-пористая структура пищевых продуктов определяет их способность поглощать из окружающей среды пары воды и летучие вещества. Сорбционные свойства играют большую роль при перевозках и хранении пищевых продуктов.

Различают следующие виды сорбции: – абсорбцию – поглощение веществ всей массой продукта; адсорбцию – поглощение веществ поверхностью продукта; хемосорбцию – химическое взаимодействие между веществом и продуктом, капиллярную конденсацию – образование жидкой фазы в микро- и макроканиллярных твердых продуктах.

Процесс, обратный сорбции, — десорбция — определяет переход веществ из поверхностного слоя в окружающую среду.

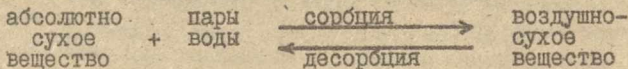
Сорбция и десорбция паров и газов приводит к изменению качества продуктов — они могут усыхать, приобретать неприятный запах или терять аромат при нарушении условий хранения.

При сорбции влаги масса продуктов возрастает, при этом печенье, вафли и сухари размягчаются; соль, сахар, мука теряют сыпучесть и слеживаются; карамельные изделия сначала становятся липкими, а затем теряют форму и "текут".

При десорбции влаги из продукта также ухудшаются его качества — происходят физико-химические изменения в структуре и свойствах /хлеб, печенье, баранки, сухари и т.д./. Плоды и овощи, теряя влагу, увядают, что приводит к нарушению обмена веществ и их порче.

Впитывание влаги тем или иным продуктом определяется, прежде всего его структурой. Как видно из приведенного выше соотношения /стр.18 /, высота поднятия жидкости в капилляре увеличивается с уменьшением его радиуса. Так как многие продукты имеют пористую /капиллярную/ структуру, то мы можем предположить, что впитывание ими влаги будет определяться развитостью этой структуры. Действительно, многие сухие и пористые продукты энергично поглощают влагу, меняют свой насыпной вес, а иногда и теряют товарный вид.

Сорбция паров воды осуществляется в две стадии. Первый процесс — адсорбция паров воды — концентрирование молекул пара на поверхности твердого продукта, а затем протекает другой сорбционный процесс — абсорбция — поглощение паров воды всем объемом твердого тела. Поглощение влаги идет до тех пор, пока не установится определенное сорбционное равновесие.



Вторая часть процесса сорбции определяется в основном капиллярной конденсацией за счет превращения в воду адсорбированных слоев пара. Как известно, капиллярная конденсация в порах осуществляется при меньших давлениях насыщенного пара по отношению к плоской поверхности.

Увлажнение пищевого продукта наблюдается тогда, когда парциальное давление пара у поверхности продукта меньше парциального

давления пара в воздухе. Процесс испарения /десорбции/ происходит, наоборот, при большем давлении у поверхности продукта по сравнению с давлением пара в воздухе. Влажность продукта, соответствующая указанному выше равновесию, называется равновесной влажностью. Она зависит главным образом от химического состава и состояния продукта, а также от относительной влажности и температуры воздуха. Повышение температуры смещает равновесие влево, охлаждение - вправо /см. схему равновесия/.

Свойство продуктов поглощать влагу из окружающей среды и удерживать ее капиллярами и всей поверхностью называется гигроскопичностью. Как правило, порошкообразные пищевые продукты /сухое молоко, кофе/, чай, сушеные фрукты и овощи отличаются высокой гигроскопичностью.

Вещества, способные активно поглощать пары воды из окружающей атмосферы, значительно повышают гигроскопичность продукта. Так, гигроскопичность меда обуславливает содержащаяся в нем фруктоза, гигроскопичность соли - соединения кальция и магния, присутствующие в качестве примесей в поваренной соли.

Вещества, имеющие хорошо развитую поверхность, способны сорбировать не только газы и влагу, но они склонны осуществлять и избирательную сорбцию. Так, например, рекомендуется применять активированный уголь в виде порошка или гранул для обесцвечивания и очистки сиропов тростникового сахара и сахарной свеклы, растворов глюкозы, лактозы, глутаминовой, малиновой, винной кислот, молочной сыворотки, вина, пива, растительных масел.

Капиллярные явления, проявляющиеся в пищевых продуктах, оказывают также влияние и на проявление ими структурно-механических, теплофизических, электрофизических и других свойств.

Таким образом, капиллярные явления могут быть полезны для понимания многих процессов и явлений, встречающихся в практике технолога общественного питания. Капиллярным давлением вызваны и многие другие явления, имеющие отношение к профессии технолога. Это - возникновение высоких пересыщений пара без образования капелек жидкости, перегрев жидкости выше точки кипения, переохлаждение расплавов или пересыщение растворов без выделения кристалликов. С этим связано повышенное давление насыщенного пара на искривленных поверхностях - малых капле-ках, и, наоборот, пониженное давление пара в маленьких пузырьках внутри жидкости.

Капиллярные явления обуславливают капиллярно-конденсацию.

процесс смачивания и флотации. Уместно отметить, что с капиллярными явлениями связаны также и такие процессы, часто встречаемые технологом, как образование новой фазы в неустойчивой /метастабильной/ среде, конденсация паров, кипение жидкостей, кристаллизация и другие фазовые переходы.

3. Фазовые переходы и фазовые равновесия в пищевой технологии и кулинарии

Молекулы жидких и твердых тел при любой температуре могут переходить в газообразную фазу. Переход жидкости в газообразное состояние называется испарением. Обратный переход вещества из газового состояния в жидкое называется конденсацией. Возможен переход вещества из твердого состояния в жидкое /плавление/, из жидкого в твердое /кристаллизация/, из твердого состояния в газообразное /сублимация/. Все эти процессы, при которых вещества без изменения химического состава переходят из одного состояния в другое, называются фазовыми переходами.

Во всех случаях между фазами гетерогенной системы устанавливается равновесие, которое называется фазовым равновесием. Примером фазового равновесия является состояние системы вода - насыщенный пар. В насыщенном растворе соли в равновесии находятся жидкий раствор и кристаллы. В условиях постоянной температуры давление насыщенного пара над жидкостью будет постоянным, т.к. при равновесии скорость испарения будет равна скорости конденсации. В случае насыщенного раствора соли скорость растворения равна скорости кристаллизации. Можно привести и другие примеры фазовых равновесий.

Технологи часто сталкиваются с фазовыми переходами веществ: испарение и кипение, замерзание и кристаллизация, плавление и др. Все эти явления подчиняются общим физическим закономерностям и характеризуются такими постоянными параметрами, как $T_{пл.}$, $T_{крисст.}$, $T_{кип.}$

Обычно $T_{пл.}$ равна $T_{крисст.}$, однако в случае сложных высокомолекулярных систем иногда наблюдаются аномальные явления. Например, природные жиры представляют собой сложную систему из смеси различных триглицеридов. В таких системах $T_{пл.}$ обычно выше $T_{крисст.}$. Поэтому при одной и той же температуре твердый жир не плавится, а уже расплавленный - не застывает. Объясняется это тем, что в расплавленном жире затруднено образование

кристаллической решетки.

Таким образом, фазовые переходы могут осуществляться в определенном температурном интервале, который определяется, в первую очередь, составом многокомпонентных пищевых систем и зависят от концентрации растворенных в них веществ.

Весьма часто технологи встречаются с такими фазовыми переходами, как кипение, дистилляция, кристаллизация, с крио- и эбуллиоскопическими явлениями.

3.1. Кипение

Кипение - переход жидкости в пар /фазовый переход первого рода/ не только путем испарения со свободной поверхности, но и во всем объеме вследствие непрерывного образования и роста в жидкой фазе пузырьков насыщенного пара, внутри которых происходит испарение жидкости.

В кулинарной практике при тепловой обработке жидкость /вода/ обычно нагревается до температуры кипения. Принято считать, что вода кипит при 100°C и при атмосферном давлении. Это, однако, не совсем верно: вода, нагретая до 100°C и даже до 101°C в чайнике или другой посуде, не кипит. Объясняется это тем, что не всегда создаются условия, необходимые для закипания жидкости:

1. в жидкости должны быть зародышевые пузырьки, в которые испаряется нагреваемая жидкость;

2. должны быть созданы условия для их роста.

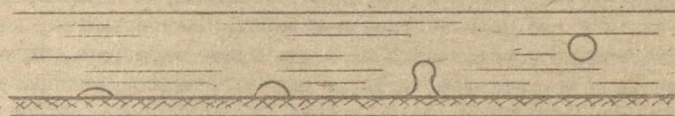
Если поверхность сосуда идеально гладкая, то на ее поверхности имеется очень мало зародышей пузырьков - кипение затруднено. При наличии на поверхности сосуда дефектов /трещин, пор, царапин/ кипение наступает быстрее, т.к. в микродефектах уже имеются газовые пузырьки /рис. 7/.

Рост пузырьков возможен только при определенном соотношении сил, действующих на них. Таких сил в основном три: с одной стороны - давление насыщенного пара, старающееся расширить пузырек / $F_{\text{пн}}$ /, а с другой стороны - внешнее давление жидкости / $F_{\text{вд}}$ / и давление поверхностной пленки пузырька / $F_{\text{дп}}$ /, стремящееся сжать пузырек /рис. 8/.

От соотношения этих сил и зависит судьба образующихся при нагревании пузырьков. Если давление внутри пузырька превышает силы, сжимающие его, он будет расти, всплывет и выбросит наружу заключенный в нем пар. Если же давление насыщенного пара будет

меньше, чем силы, сжимающие пузырек, то он исчезнет в толще воды /"схлопнется"/.

на гладкой поверхности



на поверхности с дефектами

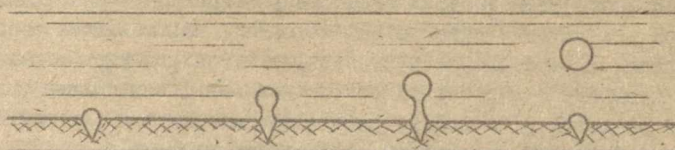


Рис. 7. Механизм образования пузырьков

Давление насыщенного пара растет с увеличением температуры, стремясь расширить пузырек. Давление поверхностных сил, наоборот, растет с уменьшением размера пузырька. В начале нагревания, когда температура жидкости мала, давление насыщенного пара внутри пузырька меньше атмосферного давления. В этом случае пузырек пара в жидкости "схлопнется" и пар сконденсируется в жидкость. Жидкость при этом находится в стабильном состоянии.

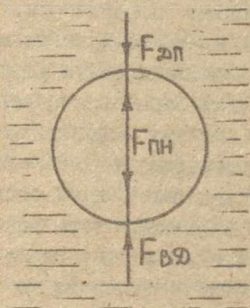


Рис. 8. Основные силы, действующие на пузырек

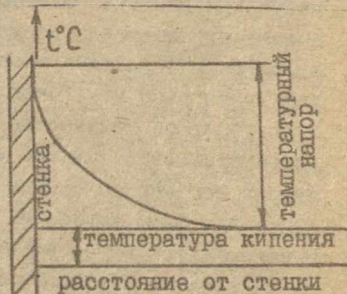


Рис. 9. Распределение температуры воды в ее слое

При дальнейшем нагреве, когда давление насыщенного пара сравняется с внешним давлением, наступает состояние температурного равновесного кипения. При этом жидкость еще не кипит в общепри-

нятом смысле слова. Объясняется это тем, что хотя возросшее давление насыщенного пара и сравнялось с внешним давлением, но его еще недостаточно, чтобы преодолеть третью силу — поверхностного натяжения — и оно сожмет пузырек с паром. Следовательно, кипение наступит только тогда, когда жидкость будет перегрета, то есть нагрета выше температуры, которую обычно называют температурой кипения.

В стационарно кипящей жидкости устанавливается характерное распределение температуры. Жидкость у поверхности раздела находится в несколько перегретом состоянии, что является необходимым условием образования пузырьков, т.к. находящийся в них пар, кроме внешнего и гидростатического давления, испытывает капиллярное давление $p = 2\sigma / r$, определяемое кривизной поверхности пузырька r и поверхностным натяжением жидкости σ .

Таким образом, в процессе кипения существенную роль играет размер зародышевых пузырьков жидкости, т.к. от них зависит размер поверхностного натяжения. Чем меньше размер зародышевых пузырьков, тем сильнее нужно перегреть жидкость, чтобы она закипела. Так, например, если диаметр пузырька 0,016 мм, то кипение наступит при температуре 105°C, а если размер пузырьков составит 0,008 мм, то кипение жидкости наступит только при 110°C.

В кулинарной практике чистую воду нагревают в основном для получения кипятка. В этом случае температура кипения будет зависеть от материала посуды, степени обработки поверхности, количества и характера микродефектов. Чаще в жидкости нагревают различные продукты, овощи, мясо, рыбу, имеющие сложную структуру, большое количество пор, что облегчает образование зародышей пузырьков. Однако во всех случаях кипение жидкости связано с особыми условиями распределения температуры в ее слое /рис. 9/. Слой жидкости, граничащий со стенками и дном сосуда, перегревается выше температуры кипения. Величина этого перегрева называется температурным напором и зависит от материала, из которого сделана посуда и скорости нагрева. В основном же объеме кипящей жидкости ее температура близка к температуре равновесного кипения. В этом основном объеме жидкости создаются хорошие условия для равномерного распределения температуры — всплывающие пузырьки усиливают турбулентное движение жидкости.

При перегреве жидкости пузырьки начинают интенсивно расти и поглощать избыточную энергию /тепло/.

Кулинары-технологи часто сталкиваются с неприятными последствиями перегрева жидкости при сильном температурном напоре. Это вызывает пригорание молока и других продуктов на дне и стенках посуды. Избежать этого можно двумя путями:

1. уменьшить температурный напор, то есть уменьшить нагрев;
2. поместить в жидкость какой-нибудь химически инертный пористый предмет, облегчающий образование зародившейся пузырьков и усиливающий турбулентное движение жидкости.

Иногда используют и другой прием: посуду вначале смачивают водой, в которой всегда содержится значительное количество растворимых газов, а затем наливают молоко или другую легко подогреваемую жидкость. При этом ускоряется образование зародившихся пузырьков за счет растворенных газов, и продукт не подгорает.

Перегрев жидкостей имеет и другие неприятные последствия: перегретая жидкость вскипает бурно /толчком/, что может быть причиной выброса жидкости.

Процесс кипения часто сопровождается вспениванием. Это вызывает в процессе приготовления первых блюд нежелательное явление пенного выброса. Пенный выброс может быть исключен снижением температурного напора, механическим разрушением пены или посредством введения специальных малых добавок пеногасящих веществ.

Суть пенообразования заключается в том, что под влиянием различного рода выделяющихся из продукта при варке органических соединений, солей, взвешенных коллоидных частиц повышается устойчивость жидких пленок образующихся на поверхности при кипении жидкости. Замедление самопроизвольного разрыва пузырьков при выходе на поверхность приводит к их накоплению на свободной поверхности жидкости, т.е. к пенообразованию. Указанные выше меры по исключению пенного выброса и способствуют разрушению жидких пленок, выходящих на поверхность пузырьков.

§ 2. Испарение и дистилляция

Испарение - явление, наиболее часто сопровождаемое различные технологические процессы пищевых производств. Обычно под испарением понимают парообразование, происходящее на свободной поверхности жидкости при температуре ниже точки кипения. В общем

случае испарение — это переход вещества из конденсированной фазы в газообразную.

Испарение происходит в результате теплового движения молекул жидкости. Молекулы образовавшегося пара проникают в газовую среду в результате диффузии и конвекции. С возрастанием температуры жидкости, то есть с ростом интенсивности теплового движения ее молекул, скорость испарения увеличивается. Скорость испарения определяется количеством пара, образующегося за единицу времени на единице поверхности жидкости. Общее количество испарившейся жидкости возрастает пропорционально площади ее свободной поверхности /зеркала испарения/.

Испарение происходит при любой температуре. Поэтому в предприятиях торговли и общественного питания установлены естественные нормы убыли массы влажных продуктов при их хранении, даже при температурах ниже 0°C . При повышенных температурах и кулинарной обработке различных блюд происходит испарение в первую очередь легколетучих фракций.

Пищевые системы, как правило, являются многокомпонентными. Составы жидкой и паровой фаз смеси, находящиеся между собой в равновесии, различны и зависят от температуры. В общем случае испарение смесей сопровождается изменением во времени парциальных давлений паров, концентраций компонентов в жидкой и паровой фазах и скорости испарения. Как правило, при испарении образующийся пар /газовая фаза/ богаче более летучим компонентом, что и определяет ароматготавливаемых блюд.

Технологи постоянно имеют дело с так называемым испарительным охлаждением. Оно имеет место в том случае, если к жидкости не подводится энергия /тепло/ извне. Испарительное охлаждение проявляется, например, при остывании первых блюд /супов/ и горячих напитков. Удаление образующегося пара без подвода энергии извне приводит к понижению температуры готовых блюд до тех пор, пока между жидкостью и паром не устанавливается термодинамическое равновесие.

При отсутствии термодинамического равновесия между жидкостью и ее паром, но при наличии над поверхностью жидкости относительно плотного пара /или, например, плотной пленки жира/ испарение с поверхности жидкости существенно замедляется, интенсивность испарительного охлаждения уменьшается, и готовые блюда могут дольше находиться в разогретом состоянии и поэтому не требуют

частого подогрева. Чтобы свести к минимуму испарительное охлаждение готовых блюд, прибегают также и к уменьшению поверхности жидкости.

Явление испарения широко используется в холодильных установках. Испарение чистых и многокомпонентных жидкостей наблюдается при многих технологических процессах: горении жидких топлив, сушке влажных материалов, выпаривании растворов и кристаллизации, подогреве и увлажнении воздуха в кондиционерах и т.д.

Во многих технологических процессах пищевых производств используется сушка - термический процесс удаления /испарения/ влаги из твердых продуктов. В результате испарения влаги с поверхности возникает градиент концентрации влаги, являющийся движущей силой внутреннего ее перемещения из глубинных слоев продукта к поверхности испарения. Это перемещение влаги сопряжено с нарушением ее связи с твердым материалом и с соответствующей затратой энергии.

Скорость /интенсивность/ процесса сушки зависит от формы связи влаги с сухим веществом продукта. По классификации П.А. Ребиндера, различают следующие формы связи влаги: химическую; физико-химическую /в т.ч. адсорбционную/; физико-механическую /структурная связь, связь в микро- и макрокапиллярах и связь смачивания/. Химически связанная влага, как правило, в процессе сушки не удаляется.

Процесс сушки в потоке воздуха при постоянных внешних условиях /температуре, влажности, давлении и скорости движения воздуха/ характеризуется определенной зависимостью между удельным влагосодержанием материала \bar{U} /количество влаги, приходящееся на единицу веса сухой части материала/ и продолжительностью процесса τ /рис. 10/. Сушка протекает по кривой АД, асимптотически приближающейся к равновесному влагосодержанию \bar{U}_p .

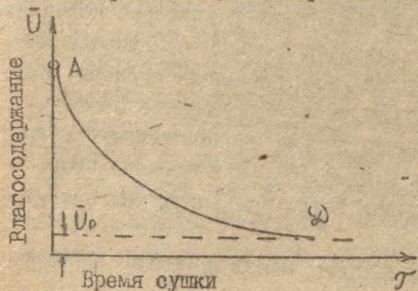


Рис. 10. Кривая сушки

Различают естественную сушку на открытом воздухе и искусственную, в специальных устройствах - сушилках. В пищевой технологии наиболее часто используют сушилки с псевдоожиженным слоем /для сушки сыпучих материалов/, распылительные сушилки /для мелко-

дисперсных и термодобильных материалов/, сублимационные сушилки и т.д. В последнем случае влага удаляется в замороженном состоянии под высоким вакуумом за счет сублимации льда. Достоинством сублимационной сушки является сохранение основных биологических качеств материала.

Процессы кипения и испарения широко используются в науке и технике для перегонки или дистилляции различных жидкостей, а также разделения сложных жидких смесей на различные фракции.

Дистилляция издавна использовалась для получения различных настоек и душистых добавок. Об этом свидетельствует и название сочинения В. Левшина /Москва, 1796 г./, которое называется "Словарь поваренный, кондитерский и дистилляторский". Теперь же процесс дистилляции широко используется в основном в пищевой промышленности. Явление дистилляции играет важную роль и в технологии пищи. Его вызваны потери ароматических веществ при приготовлении супов, соусов и других кулинарных изделий. На этом явлении основан и кулинарный прием пассерования ароматических корней для сохранения летучих эфирных масел при приготовлении супов и соусов. Пассерование преследует различные цели, но во всех случаях в основе происходящих при этом процессов лежат физико-химические явления.

Пассерованием называют прогревание различных продуктов /обычно с жиром/ при сравнительно невысокой температуре, не вызывающей образования большого количества продуктов пирогенного расщепления органического вещества пищевого продукта.

Муку, например, пассеруют до светло- или темно-коричневого цвета, чтобы вызвать денатурацию белков клейковины и образование специфического аромата и окраски.

При пассеровании томатов и моркови растворяется каротин, ликопин и другие пигменты каротиноидной группы, что придает жиру красивую окраску и способствует сохранению и усвоению каротина.

Пассерование ароматических корней связано с явлением испарения и перегонки эфирных масел /эфирные масла моркови, петрушки, сельдерея и т.д./. Эфирные масла большинства ароматических корней составляют обычно весьма незначительную весовую часть продукта: в луке их 0,01-0,10%, а в моркови всего лишь около 0,01%, и поэтому очень важно уменьшить их потери при тепловой обработке.

Температуры кипения многих эфирных масел довольно высокие.

Например, в моркови содержатся α -пинен с температурой кипения $155 + 156^{\circ}\text{C}$, β -пинен - $162 + 163^{\circ}\text{C}$, лимонен - температура кипения $\sim 175^{\circ}\text{C}$ и другие ароматические вещества. Несмотря на достаточно высокие температуры кипения указанных ароматических веществ они при варке супов и соусов /обычно кипящих при температурах $101-102^{\circ}\text{C}$ / теряются, что снижает органолептические показатели пищи. Это объясняется их перегонкой с водяным паром и частичной потерей при кипении приготовляемых блюд.

Чтобы уменьшить потери эфирных масел, кулинары пассеруют измельченные овощи /морковь, лук и др./ с каким-нибудь пищевым жиром. При этом эфирные масла растворяются в жире. Жиры имеют высокие температуры кипения /в большинстве случаев они разлагаются раньше, чем начинается кипение, и в связи с этим можно говорить только об условной температуре кипения/. Поэтому растворенные в жирах эфирные масла не перегоняются с водяным паром, т.к. они растворены в жире.

Более сложные процессы происходят при пассеровании лука. Главной составной частью эфирного масла репчатого лука является дисульфид $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{S}_2$ с температурой кипения $75 + 83^{\circ}\text{C}$. Он в основном обуславливает острый вкус и слезоточивые действия лука. При пассеровании в жире он испаряется и остается только высококипящая фракция, растворимая в жире и придающая ему специфический аромат. Высококипящие эфирные масла лука хорошо сохраняются при дальнейшей тепловой обработке пассерованного лука.

Метод дистилляции применяется при получении различных эфирных масел, используемых в пищевой технологии. Этому процессу предшествует экстракция их органическими растворителями с последующей перегонкой и ректификацией. Дистилляцией получают этиловый спирт при производстве его методом брожения.

Дистилляция - это процесс разделения жидких смесей на фракции различных составов путем их частичного испарения с последующей конденсацией образовавшихся паров.

Дистилляцию подразделяют на простую /в том числе фракционную/, равновесную и дистилляцию в токе водяного пара.

Простая дистилляция производится путем частичного испарения кипящей жидкой смеси, непрерывного отвода и конденсации образовавшихся паров. Полученный конденсат называют дистиллятом, а неиспарившуюся жидкость - кубовым остатком.

При фракционной дистилляции /дробной перегонке/ /рис. II/, применяемой для разделения жидкостей на фракции, кипящие в узком интервале температур, дистилляты разных составов отводят в несколько сборников /последовательно во времени/ /см. рис II/. При этом в сборник I поступает первая по времени порция дистиллята, наиболее богатая низкокипящими компонентами, в сборник II — менее богатый дистиллят, в сборник III — еще менее богатый.

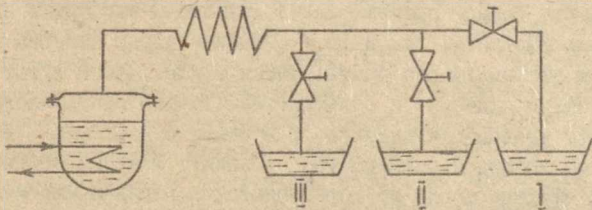


Рис. II. Схема процесса фракционной дистилляции

В каждой из этих фракций преобладает один или несколько компонентов исходной смеси с повышающимися температурами кипения.

Чаще всего для выделения эфирных масел используют дистилляцию в токе водяного пара. Она применяется при необходимости понижения температуры отгонки, в случае разделения нетермостойких компонентов, а также для отгонки летучих веществ от компонентов с низкой летучестью.

Дистилляция с водяным паром производится пропусканием через слой жидкости насыщенного или перегретого водяного пара. Образовавшаяся смесь паров воды и летучего компонента отводится из аппарата и подвергается конденсации и охлаждению. Этот метод дистилляции применим при взаимной нерастворимости отгоняемого компонента и воды. В этом случае конденсат разделяется на два слоя, что облегчает отделение продукта. При дистилляции с водяным паром температура кипения смеси обычно ниже температуры кипения каждого из чистых компонентов при данном давлении, поэтому компоненты раствора испаряются в поток даже если раствор не кипит; парообразование при испарении может происходить при любых температурах, что позволяет вести процесс при низких температурах и пониженном давлении.

Примером использования дистилляции с водяным паром является

получение, например, эфирного укропного масла, извлекаемого из укропа. Эфирное укропное масло используется в консервной промышленности. Его используют вместо натуральной зелени при консервировании огурцов, мариновании грибов, в заготовках первых обеденных блюд, в овощных соланках и т.д. Препарат добавляют из расчета 20 г укропного масла вместо 1 кг обычного зеленого укропа.

Для выделения витаминов из рыбьего жира и различных растительных масел используется молекулярная дистилляция - процесс разделения жидких смесей путем свободного испарения в вакууме $/10^{-3} - 10^{-4}$ мм рт.ст./ при температуре ниже точки их кипения.

Процесс дистилляции нашел широкое применение на отдельных стадиях рафинирования жиров, идущих на пищевые цели. На этих стадиях происходит, например, удаление свободных жирных кислот их дистилляцией при высокой температуре $/210 - 260^{\circ}\text{C}/$ и глубоком вакууме, а также удаление одоризирующих веществ путем их отгонки в токе водяного пара. Дезодорация основана на различии давления паров одоризирующих веществ и глицеридов, входящих в состав жиров.

3.3. Кристаллизация

Вода занимает особое место среди соединений в смысле перво-степенной ее важности в самых разнообразных процессах и явлениях живой и неживой природы, а также в практическом использовании ее человеком.

Вода, как известно, является составной частью растений и животных, составляя от 50 до 99% их веса. Большинство пищевых продуктов являются сильно обводненными системами. Например, содержание воды в овощах достигает 72 + 95%. Значительное количество воды содержит мясо, рыба и только крупы, макаронные изделия и некоторые другие продукты обводнены в меньшей степени.

Находящаяся внутри клеток вода содержит растворенные вещества, которые поддерживают осмотическое давление внутри клеток. В клетках плодов и овощей это давление достигает 5 + 10 атм или 0,49 - 0,98 Мн/м² /мегаНьютон/м²/ и придает овощной ткани упругость, создает избыточное давление, называемое тургорным. При потере воды уже в количестве 5-7% плоды и овощи увядают, теряют свежесть. Технологи в этом случае замачивают

увядшие овощи в воде, чтобы восстановить их свежесть. Некоторые овощи увядают даже при потере 2-3% влаги /салатно-шпинатные/. Это обусловлено состоянием и особенностями строения их покровных тканей.

Содержащаяся в продукте вода условно подразделяется на свободную и связанную. Свободная вода с растворимыми в ней веществами образует клеточный сок и легко удалится при сушке.

Связанная вода может быть слабо связанной и прочно связанной. Слабо связанная вода обладает свойствами свободной воды: замерзает она около 0°C, в ней растворяются различные низкомолекулярные и высокомолекулярные вещества.

Прочно связанная вода замерзает ниже 0°C и не является растворителем. К связанной воде относится вода, которая удерживается частицами коллоидов, а также вода, образующая сольваты с растворимыми веществами /ионами, молекулами растворенных веществ/. Наиболее прочно связаны молекулы воды, образующие сольватные оболочки вокруг коллоидных частиц. Поэтому состояние воды в пищевых продуктах зависит от степени гидрофильности коллоидов. Она же определяет и влагоудерживающую способность муки, мясных фаршей и других пищевых продуктов.

В процессе приготовления пищи и во многих технологических процессах пищевые системы подвергаются различным видам тепловой обработки. Выше мы рассмотрели явления, связанные с процессами нагревания и кипения. Технолог часто имеет дело и с охлаждением этих систем - прежде всего при организации хранения готовой кулинарной и консервированной продукции, плодов и овощей. При охлаждении пищевых продуктов и кулинарных изделий технологи сталкиваются с процессами кристаллизации. Эти процессы играют большую роль в пищевой технологии и кулинарии и зачастую определяются свойствами воды.

Свойства воды объясняются главным образом строением ее молекул, дипольным характером их, важен и ее химический аспект. Технологи часто имеют дело с проявлениями свойств воды, находящейся в одном из фазовых состояний - газообразном /пар/, твердом /лед/ и жидком /жидкая вода/.

Три ядра в молекуле воды $\text{H} \cdot \underset{\text{H}}{\underset{\cdot\cdot}{\text{O}}}$ образуют равнобедренный треугольник с двумя протонами в основании и кислородом в вершине /рис. 12/.

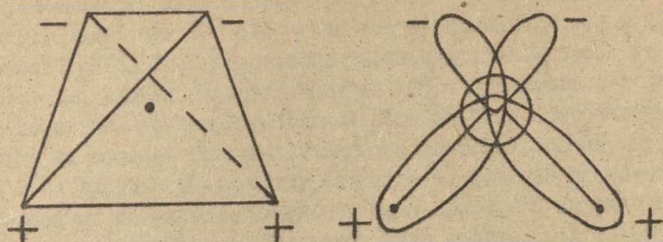


Рис. 12. Схема строения молекулы воды

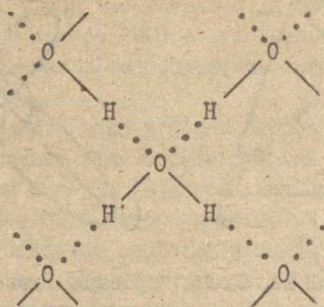
В молекуле воды имеются четыре полюса зарядов, расположенные в вершинах тетраэдра: два отрицательных, созданных избытком электронной плотности в местах расположения неподделенных пар электронов, и два положительных, созданных ее недостатком в местах расположения протонов. Таким образом, молекулы воды имеют тетраэдрический тип строения.

Молекула воды в парообразном состоянии имеет следующие характеристики: расстояние О-Н 0,9584 Å, Н-Н 1,515 Å, угол НОН 104°27'.

В структуре льда межатомные расстояния несколько больше: О-Н 0,99 Å, Н-Н 1,62 Å, угол НОН 109°5'. Межмолекулярное расстояние в структуре льда составляет 2,76 Å.

Молекулы воды легко образуют между собой водородные связи, обуславливающие соединение в агрегаты отдельных молекул. Благодаря этим связям отдельные молекулы в форме тетраэдров связаны друг с другом и образуют решетку внутри массы воды. При температуре воды 0°С эта решетка мало упорядоченная. При охлаждении за счет ослабления тепловых движений образуется более прочная кристаллическая решетка и структура ее становится упорядоченной.

В твердой воде /лед/ атом кислорода каждой молекулы участвует в образовании двух водородных связей с соседними молекулами воды согласно схеме, в которой водородные связи показаны пунктиром.



Координационное число воды в структуре льда равно четырем, что и обусловлено четырьмя полюсами зарядов в молекуле.

Описанная выше модель структуры воды соответствует многим реальным, наблюдаемым на опыте, фактам и явлениям. В настоящее время разработаны различные теории жидкого состояния воды, но, следует признать, что ни одна из них не находится еще в достаточном согласии со всей совокупностью экспериментальных данных о свойствах воды. Изменение внутреннего строения воды с температурой сказывается и на изменении с температурой различных свойств ее. В этом отношении вода может заметно отличаться от других жидкостей.

Тетраэдрическая структура льда является весьма рыхлой /"ажурной"/, т.е. характеризуется малой упаковкой частиц. При плавлении льда межмолекулярное расстояние увеличивается до $2,90 \text{ \AA}$, несколько увеличивается координационное число молекул, что приводит к уменьшению рыхлости, т.е. к некоторому уплотнению частиц за счет уменьшения пустот в структуре.

Уменьшение рыхлости структуры льда приводит к аномалиям в плотности, которые заключаются в ее увеличении при плавлении льда /от $0,9168$ до $0,99987 \text{ г/см}^3$ при 0°C /. Благодаря аномалии в плотности лед плавает на воде, а "ажурный" тип структуры приводит к увеличению объема воды при ее замерзании. Если замерзание воды происходит в замкнутом объеме, который не может существенно увеличиваться, и если вода в жидком состоянии полностью занимала этот объем, то вследствие перехода воды в лед, происходит соответственно сильное увеличение давления.

Увеличение давления в подобном объеме приводит к разрушению целостности тары.

Теплоемкость жидкой воды примерно в 2 раза превосходит теплоемкость льда: при 0°C они равны соответственно 75,98 и 38,1 Дж·моль $^{-1}$ ·К $^{-1}$. Такого большого различия теплоемкостей не наблюдается для других веществ. Причина этого заключается в том, что при повышении температуры жидкой воды энергия затрачивается не только на обычное усиление теплового движения частиц, но также еще и на разрыв связей между молекулами. Этим же объясняется и наблюдаемая наибольшая плотность воды при $4,0^{\circ}\text{C}$ /точнее при $3,98^{\circ}\text{C}$ /. Это становится понятным, если учесть, что с повышением температуры уменьшается доля молекул, связанных между собой водородными связями.

Таким образом, водородные связи являются одной из причин аномального поведения воды. Можно считать, что в жидкой воде находятся в динамическом равновесии образования из тетраэдрически связанных молекул и частично или полностью свободных молекул. Влияние внешних факторов в какой-то степени расстраивает структуру, свойственную воде, разрывает или укрепляет связи, существовавшие между молекулами, что приводит к тем или иным аномальным явлениям.

Технологам чаще всего приходится иметь дело с фазовыми переходами жидкость - твердое тело не чистой воды, а растворов. Концентрация растворимых веществ в водной фазе пищевых продуктов может быть довольно значительной, что сказывается на температурах выкристаллизации воды. Своеобразно протекают кристаллизационные процессы в животных и растительных тканях. При этом концентрация растворенных веществ в отдельных частях тканей различна. Как правило, она значительно меньше в межклеточной жидкости и много больше внутри клеток или мышечных волокон. Поэтому, согласно закону Рауля, в первую очередь замерзает вода в межклеточном пространстве.

Образующиеся мелкие кристаллы в межклеточном пространстве постепенно растут за счет диффузии влаги из клетки или мышечных волокон. Происходит перераспределение влаги: содержание ее в клетках или мышечных волокнах уменьшается, концентрация растворимых веществ возрастает. Возрастание концентрации электролитов в клеточном соке может вызвать денатурацию части белковых веществ, именно по этой причине при длительном хранении замороженного мяса и рыбы происходит частичная денатурация белков.

При быстром замораживании мяса и рыбы между мышечными волокнами образуются мелкие кристаллики льда - они практически не раз-

рушают структуру ткани. После размораживания /дефростации/ продукты восстанавливают свои свойства. Чем медленнее идет размораживание, тем полнее восстанавливаются свойства продукта, так как образующаяся при таянии вода успевает впитаться обратно в мышечные волокна. На этом основана технология дефростации мяса: его выдерживают вначале при температуре около $+4^{\circ}\text{C}$ с постепенным повышением температуры до $6 + 10^{\circ}\text{C}$ в течение трех суток.

Таким образом, образовавшиеся при замораживании кристаллы имеют различную величину в зависимости от режимов замораживания. Крупные кристаллы льда, образующиеся преимущественно между волокнами, расширяют межклеточное пространство /объем воды при замораживании увеличивается примерно на 10%, деформируют и частично разрушают мышечную ткань. Действие субкриоскопических температур не сопровождается разрушением структуры мышечной ткани вследствие кристаллообразования. Однако при длительном хранении мяса наблюдается увеличение кристаллов средних размеров /перекристаллизация/, т.е. образование более крупных кристаллов за счет уменьшения объема или полного исчезновения мелких. Это приводит к увеличению повреждения ткани, а следовательно, и к снижению качества мяса.

С процессом кристаллизации технологи сталкиваются и в ряде других случаев. Например, при охлаждении сахарного сиропа в процессе производства "помадки" в нем образуются кристаллы сахарозы, придающие помадке определенные структурно-механические свойства. Чтобы не образовывалось крупных кристаллов, сироп для "помадки" охлаждают при непрерывном и энергичном перемешивании. Однако даже и в этом случае при хранении "помадки" кристаллы сахарозы постепенно растут и помадка черствеет. Чтобы задержать черствение, в массу для нее добавляют патоку /мальтозную или инвертную/, содержащую плохо кристаллизующуюся мальтозу, которая предотвращает рост кристаллов. При отсутствии патоки кондитеры добавляют в сироп уксусную или лимонную кислоты. Под их действием часть сахарозы инвертирует, образуя глюкозу и фруктозу, которые и препятствуют кристаллизации.

Иногда кристаллизация вызывает нежелательные явления при хранении различных видов варенья. Для восстановления засахарившегося варенья его поверхность увлажняют и всю массу подвергают вновь термической обработке. При изготовлении варенья, как известно, используются растворы сахарозы достаточно высокой кон-

центрации. При длительном хранении варенья и, особенно, в условиях пониженных температур возникают зоны пересыщения. Пересыщенный и переохлажденный раствор находится в так называемом метастабильном состоянии — состоянии небольшой относительной устойчивости. Переход в более устойчивые состояния может быть вызван в таких системах весьма слабыми воздействиями. Внесение "затравки" новой фазы, которая может служить центрами ее образования, всегда вызывает самопроизвольно протекающий переход в устойчивую форму /например, "засахаривание" сиропов и варенья/. При образовании кристаллической фазы из раствора зародыши ее часто возникают первоначально в виде аморфных частиц, которые затем с большей или меньшей скоростью переходят в кристаллическое состояние.

С низкими температурами кулинар-технолог имеет дело, как правило, при организации хранения плодоовощной продукции или готовых блюд. Именно криоскопическими явлениями объясняется тот факт, что эта продукция может храниться и при температурах немного ниже нуля, не подвергаясь замораживанию. Консервирование низкими температурами проводят как путем охлаждения, так и замораживания. Охлаждением называется обработка и хранение пищевых продуктов при температуре, близкой к криоскопической, т.е. к температуре замерзания клеточного сока, которая зависит от состава и концентрации сухих веществ. Для яблок она колеблется от $-1,4$ до $-2,8^{\circ}\text{C}$, для винограда равна $-3,8^{\circ}\text{C}$, для рыбы -2°C , а для мяса $-1,2^{\circ}\text{C}$ и ниже. При замораживании происходит полная кристаллизация жидкой фазы продукта. Этот способ применяется для более длительного сохранения мясных и рыбных продуктов, овощей, фруктов и др.

Вымораживание влаги дожит и в основе некоторых методов консервирования. О сублимационной сушке речь шла уже выше. Следует отметить также способ получения концентрированных соков. Этот способ основан на том, что при замораживании вымерзает растворитель /вода/, а экстрактивные вещества /сахара, кислоты, соли/ не кристаллизуются, а остаются в растворе. Сок замораживают при $10-12^{\circ}\text{C}$, образовавшиеся кристаллы льда отделяют на центрифуге. Процесс повторяют 2-3 раза. Полученный концентрированный сок богат эфирными маслами и отличается высоким качеством.

3.4. Эбуллио- и криоскопические явления

Как известно, чистая вода при нормальном давлении кипит при

100°C и замерзает при 0°C . В кулинарной практике в большинстве случаев имеют дело с растворами различной концентрации. Например, варка бульонов сопровождается экстракцией из твердого продукта минеральных солей и органических компонентов пищи, важным компонентом при этом является поваренная соль. Приготовление сиропов предусматривает добавление к воде значительных количеств сахара и т.д. Все это сказывается на физических константах кулинарных сред и в первую очередь на температурах их кипения и замерзания. Так, температура кипения супов обычно составляет около 102°C , а соусов еще выше в связи с большей концентрацией растворимых в них веществ. Использование смеси соли со льдом при изготовлении мороженого также основано на том, что раствор имеет более низкую температуру замерзания; соль растворяется в воде, образуя раствор, находящийся в равновесии со льдом при температуре ниже температуры замерзания воды.

Указанные выше эффекты могут быть объяснены действием закона Рауля и образованием эвтектических систем. Согласно этому закону давление насыщенного пара над раствором уменьшается пропорционально его концентрации. При постоянном давлении это вызывает повышение температуры кипения раствора и понижение температуры его замерзания по сравнению с температурой кипения чистого растворителя на величину $\Delta t_{\text{кип}}$ и $\Delta t_{\text{зам}}$.

Понижение точки замерзания или повышение точки кипения, соответствующие растворению одного моля вещества в 1000 г растворителя, есть величины постоянные для данного растворителя. В первом случае она называется криоскопической константой, во втором случае — эбулиоскопической. Криоскопическая константа воды равна $1,86^{\circ}\text{C}$, эбулиоскопическая — $0,516^{\circ}\text{C}$. Это означает, что при растворении 1 моля вещества температура кипения воды повышается на $0,516^{\circ}\text{C}$, а ее замерзания — понижается на $1,86^{\circ}\text{C}$.

Однако надо иметь в виду, что концентрированные растворы и растворы электролитов сильно отклоняются от этих закономерностей. Так, например, при концентрации сахара в сиропе 70% молярная концентрация сахарозы составит около 6,82 М/1000 г воды и, следовательно, температура кипения должна повыситься на $3,52^{\circ}\text{C}$, т.е. должна быть равна $103,52^{\circ}\text{C}$. Фактически она равна $105,3^{\circ}\text{C}$ /табл. I/.

Конечно, практически точного совпадения расчетных данных

температур кипения с фактическим не может быть, т.к. здесь играет роль ряд побочных факторов: кристаллизация на стенках сосуда, неравномерная концентрация по всей массе нагреваемого сиропа и т.д. Однако общая закономерность при этом прослеживается: с увеличением концентрации растет температура кипения сахарного сиропа.

Кулинары-технологи контролируют процесс варки сиропа чаще всего кустарным способом /наблюдая характер струи стекающего с палочки сиропа или скатывая из него шарик/, а также по плотности. Этот процесс иллюстрируется данными табл. I, в которой приведены температуры кипения, плотность и свойство сиропа при разной температуре.

Таблица I
Зависимость температуры кипения раствора
от концентрации сахара в сиропе

Содержание сахара, в %	Плотность, г/см ³ при 20°С	Т кипения в открытом посуде, °С	Органолептические определения содержания сахара в растворе
10	1,038	100,1	подслащенная вода
20	1,080	100,3	подслащенная вода
30	1,126	100,6	сладкая вода
40	1,160	101,1	сладкая вода
50	1,229	101,9	сироп слабый
60	1,236	103,0	сироп средний
65	1,316	103,9	сироп крепкий
70	1,348	105,3	нитка тонкая
75	1,378	107,4	нитка средняя
80	1,411	110,3	нитка толстая
85		114,5	шарик слабый
90		122,6	шарик средний
95		127,0	шарик крепкий
98		165,0	карамель

3.5. Экстракция и экстрактивные вещества

Экстракцией называется извлечение из растворов или твердой фазы веществ с помощью какого-либо растворителя /экстрагента/. Экстракция как физическое явление сопровождает многие техноло-

гические процессы, играет ведущую роль в процессах кулинарной обработки различных блюд. В качестве растворителя при этом выступает вода.

Важное место в нашем рационе питания занимают различные отвары и бульоны, приготовляемые из мяса и рыбы. Переход растворимых веществ в бульон происходит в результате отделения денатурирующимися мышечными белками воды вместе с растворенными в ней экстрактивными и минеральными веществами, а также в результате диффузии.

Экстрактивные вещества принимают участие в формировании специфического вкуса и аромата приготовляемых блюд, что определяется их составом. Велико и пищевое значение бульонов, которые образуются в результате перехода из мяса и рыбы экстрактивных, минеральных веществ, белков и жиров. Калорийность их невелика, но, кроме формирования вкуса и аромата, они оказывают тонизирующее действие на организм человека, усиливают секрецию пищеварительных желез и таким образом способствуют лучшему усвоению пищи.

Питательную ценность бульонов определяет количественный и качественный состав экстрактивных веществ. По составу экстрактивные вещества мяса делят на две группы — азотистую и безазотистую. К первой группе относят свободные аминокислоты, пептиды, производные гуанидина, пуриновые основания. Ко второй группе относят гликоген, сахара, кислоты, мезоинозит. Качественный состав экстрактивных веществ рыбных бульонов существенно отличается от мясных. В составе свободных аминокислот преобладают циклические /гистидин, триптофан, фенилаланин/ и серосодержащие аминокислоты /цистин, метионин, таурин/. Характерной особенностью экстрактивных веществ рыбы является пониженное содержание в них небелковых азотистых соединений, характерных для мяса крупного рогатого скота, и значительное содержание специфических азотистых веществ, полностью отсутствующих в мясе убойного скота.

По качественному составу экстрактивных веществ и их содержанию говядина, баранина и свинина примерно равноценны. Количество экстрактивных веществ колеблется в зависимости от породы, пола, возраста, степени упитанности животного. Качественный состав рыбных бульонов также колеблется в зависимости от принадлежности рыб к тем или иным группам /речные, океа-

нические и пр./.

Значительные количества экстрактивных веществ содержат черный байховый чай и кофе, которые при заварке переходят в настой и придают напиткам вкус, цвет и аромат. Важной составной частью чая является танин, кофеин, летучие эфирные масла. Летучие экстрактивные вещества при кипячении могут теряться, при испарении эфирных масел чай приобретает неприятный запах "пареного". Длительное кипячение кофе приводит также к большим потерям его ароматических веществ. При этом меняется соотношение отдельных компонентов ароматических веществ, что существенно изменяет запах напитка. Летучесть эфирных масел учитывается при заварке чая и приготовлении кофе – и чай и кофе готовят до кипения. Жесткость воды существенно сказывается на экстракции растворимых веществ чая: чем она выше, тем слабее экстракция, хуже его вкус и аромат.

В последнее время широкое применение получили концентраты и экстракты пряностей. Получение различных экстрактов пряностей диктуется необходимостью облегчить применение сравнительно больших масс пряностей в условиях общественного питания. В настоящее время наша промышленность выпускает лавровый порошок /экстракт натурального эфирного масла лавра/, укропное масло /концентрат эфирных масел укропа/, укропный раствор /экстракт на спиртовой основе/, а также анисовое, тминное, горчичное, кориандровое и гвоздичные масла, применяемые в пищевой промышленности, консервной и ликеро-водочной промышленности. Эти экстракты используют сильно разведенными для сдабривания холодных блюд /салаты, рыбные закуски и т.д./

Процессы экстракции широко применяются в производственной практике, в том числе и в пищевой промышленности. Их применяют или для удаления нежелательной составной части, или для выделения в более концентрированном состоянии какой-нибудь ценной составной части раствора. В первом случае продукцию подвергают вымачиванию /почки, печень, грибы и т.д./, во втором случае для извлечения нужных компонентов используют соответствующий растворитель, готовят вытяжку и затем их выделяют в чистом виде. Так получают, например, эфирные масла, используя в качестве экстрагента спиртовые растворы.

Кулинарное приготовление различных блюд /отваров, бульонов и пр./

сопровождается комплексом сложных процессов: механических /выпрессовка влаги вместе с экстрактивными и минеральными веществами/, физико-химических /экстракция/ и физических /диффузия/. В некоторых случаях /например, при получении эфирных масел/ преобладающими становятся собственно экстракционные процессы.

Физическая сущность экстракции состоит в переходе извлекаемого вещества из одной фазы /жидкой или твердой/ в фазу жидкого экстрагента при их взаимном соприкосновении.

Экстракция включает следующие основные операции: 1) смешение исходной смеси веществ и экстрагента; 2) механическое разделение образующихся двух фаз; 3) удаление и регенерацию экстрагента из каждой фазы. При экстракции из растворов исходный растворитель и экстрагент должны быть взаимно нерастворимы или только ограниченно растворимы друг в друге. Регенерация экстрагента может производиться дистилляцией, выпариванием, кристаллизацией, высаливанием и другими методами.

Процесс экстракции управляется законами диффузии и равновесного распределения и определяется уравнениями массообмена. Отношение концентрации экстрагируемого вещества в равновесных экстракте /у/ и рафинате /х/ называется коэффициентом распределения $K_p = y/x$. В практических процессах экстракции линейный закон распределения часто нарушается; величина K_p оказывается функцией концентрации. Фазовое равновесие может быть представлено в диаграмме /рис. 13/.

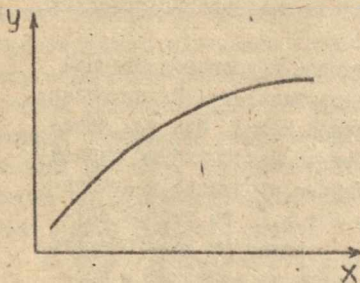


Рис. 13. Диаграмма равновесия у-х при экстракции

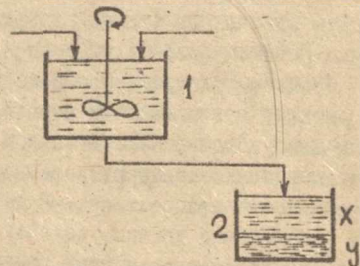


Рис. 14. Схема процесса однократной экстракции: 1 - смешение; 2 - расслаивание.

На практике применяют разнообразные технологические схемы экстракционных процессов, из них простейшая - однократная экстракция - представлена на рис. 14. Наиболее эффективны непрерывные процессы экстракции, осуществляемые в многоступенчатых аппаратах при противотоке исходного раствора и экстрагента. В этом случае наиболее полно используется движущая сила процесса массообмена, а заданная степень экстракции достигается при наименьшем расходе экстрагента.

В пищевой промышленности нашла широкое применение экстракция из твердых веществ. При этом извлекаются многие природные органические соединения из растительного сырья /сахар из свеклы и тростника, масла из соевых бобов и хлопковых семян, танни из древесной коры, пищевые красители, эфирные масла, витамины и т.д./.

Интенсификация процесса достигается увеличением поверхности контакта фаз, градиента концентраций, продолжительности экстракции, а также повышением температуры.

Экстракция из твердых веществ может производиться пропусканием экстрагента через слой неподвижной твердой фазы или перемешиванием обеих фаз. Для увеличения поверхности взаимодействия экстрагента с обрабатываемым твердым веществом последнее обычно предварительно измельчается.

Экстракцию применяют в том случае, когда необходимо разделить вещества, кипящих в узком интервале температур или обладающих малой летучестью паров и высокой температурой кипения. В некоторых случаях разделение перегонкой вообще невозможно из-за чувствительности веществ к высокой температуре - тогда также прибегают к экстракции.

В последние годы все шире стали использоваться методы экстракции с помощью жидкостей, находящихся в сверхкритическом состоянии /высокие давления, низкая температура/.

Экстракция под высоким давлением широко практикуется в пищевой промышленности для выделения ценных пищевых экстрактов и для удаления из пищевого сырья нежелательных компонентов с целью его облагораживания.

Она используется, например, для выделения эфирных масел и жгучих веществ из черного перца, экстрактов из бурых водорослей, крабов и лесных грибов. Полученные экстракты имеют ароматический и вкусовой профиль; обуславливающие их компоненты хи-

мического состава могут использоваться как приправа, а также являться ингредиентом многих пищевых продуктов: ветчины, колбас, рыбы и морепродуктов, супов, блюд домашнего приготовления и общественного питания.

Чаще всего в качестве экстрагента применяется жидкий диоксид углерода. Так, жидкий CO_2 используется для получения экстрактов хмеля для пивоваренной промышленности, выделения кофеина из кофе, очистки сырого лецитина от триглицеридов и т.д. Практикуется также выделение липидов из зародыша зерна пшеницы. Варьирование температуры и давления до 250 атм позволяет использовать различные условия экстракции в широких пределах, изменять растворяющую способность CO_2 . Новый метод позволяет эффективно выделять токоферолы, предотвращает денатурацию белков /ферментов/ в обезжиренных объектах.

Экстракция, осуществляемая подобными экстрагентами, имеет ряд преимуществ перед извлечением веществ обычными органическими растворителями. При экстракции с помощью жидкостей, находящихся в сверхкритическом состоянии, достигается снижение энергоемкости процесса, уменьшается воздействие на окружающую среду, термической деградации ингредиентов пищевых продуктов не происходит. Используемая для целей жидкостной экстракции CO_2 под высоким давлением обладает удобными фазовыми свойствами, высокой инертностью, практически нулевой токсичностью.

Указанные свойства экстрагента создали широкие возможности для использования его в пищевой промышленности. При этом максимально сохраняются натуральные свойства пищевого продукта. Так, в качестве примера приведем, например, способ получения высокоароматного кофе путем экстрагирования эфирных масел из обжаренных и измельченных зерен жидким CO_2 , последующего удаления CO_2 и дозирования эфирных масел в готовый продукт. Способ обеспечивает селективное экстрагирование ароматических веществ и исключает их окисление и гидролиз, делает возможным получение высокоароматного растворимого кофе.

4. Адгезия

Адгезия /от латинского "прилипание"/ – слипание поверхности двух разнородных твердых или жидких тел. В технологии продуктов общественного питания играет большую роль адгезия жидких и жидкообразных продуктов к твердой поверхности: теста к поверхности

машин и жарочных аппаратов, мяса и рыбы к сковородкам, мясного фарша к рабочим органам механического оборудования и т.д.

По классическому определению академика П.А. Ребиндера, адгезия — это молекулярная связь между поверхностями двух соприкасающихся разнородных твердых или жидких тел /фаз/.

Адгезия характеризует усилие взаимодействия между поверхностью продукта и материала или тары, с которыми он соприкасается. Это явление широко распространено в повседневной жизни и технике, а также в пищевом производстве и кулинарии. Адгезия тесно связана с пластичностью, вязкостью пищевых продуктов. Различают два типа адгезии: специфическую /собственно адгезия/ и механическую. Первая является результатом сил сцепления между поверхностями материала. Вторая возникает при проникновении адгезива в поры материала и удержании его вследствие механического заклинивания.

Адгезия твердых тел обычно мала вследствие того, что истинная площадь контакта из-за неровностей поверхностей составляет весьма малую долю от кажущейся площади соприкосновения. Только на границе раздела двух жидкостей или твердого тела и жидкости достигается полный контакт по всей площади соприкосновения и адгезия достигает предельного значения.

Предельная или близкая к предельной адгезии наблюдается, например, при горячей сварке, пайки, лужении, склеивании. Припой или клей хорошо смачивает твердые поверхности и после отверждения обретет прочный адгезионный шов. Близкая к предельной адгезия возникает также при образовании лакокрасочных и гальванических покрытий, а также в результате хемосорбции и поверхностных химических реакций окисных, сульфидных и других пленок на металлических поверхностях. Прочная адгезия наблюдается также при соприкосновении твердых тел в пластичном и эластичном состояниях.

Адгезия характерна для таких пищевых продуктов, как сыр, сливочное масло, мясной фарш, некоторые кондитерские изделия и др. Они прилипают к лезвию ножа при разрезании, к зубам при разжевывании, к формам при выпечке. В технологии пищевых продуктов и в кулинарии часто проявляется сила адгезии при соприкосновении жидких /упругих, эластичных/ тел и твердой поверхности. Здесь силы адгезии определяются свойствами соприкасающихся поверхностей и прежде всего способностью их к смачиванию. Основной

экспериментально определяемой физико-химической характеристикой смачивания является краевой угол смачивания θ . Наглядное понятие об угле смачивания дает рис. 15.

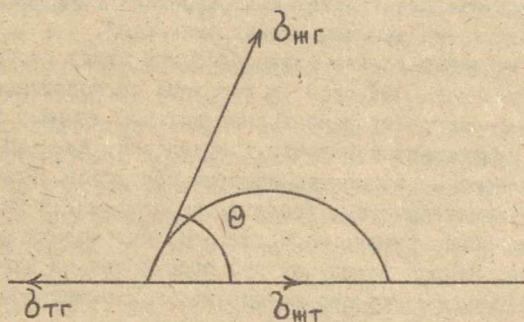


Рис. 15. Схема краевого угла смачивания

Угол смачивания — функция многих величин. Например, процессы смачивания твердых тел жидкостями длительны и ускоряются введением поверхностно-активных веществ. Физическая сущность смачивания лучше выражается через понятие адгезии и когезии. Сам краевой угол смачивания определяется соотношением когезии и адгезии смачивающей жидкости и смачиваемого твердого тела.

Понятие когезии охватывает явления взаимодействия внутри жидких или твердого тела и характеризуется работой когезии W_K , т.е. работой, необходимой для разрыва столбика конденсированного тела единичной площади поперечного сечения.

Понятие адгезии включает в себя явления, связанные со взаимодействием различных тел, и характеризуется работой адгезии W_A — работой, необходимой для разрыва единицы площади межфазного поверхностного слоя.

Понятия эти введены Дюпре и им же даны выражения для работы когезии и адгезии. Работа когезии равна удвоенному поверхностному натяжению $W_K = 2\delta_{жг}$, т.к. при разрыве столбика жидкости или твердого тела единичной площади будут образованы две новые поверхности со свободной поверхностной энергией $\delta_{жг}$; при этом совершаемая работа равна произведению поверхностного натяжения на площадь образовавшейся поверхности, т.е. $W_K = S \cdot \delta_{жг} = 2\delta_{жг}$.

Работа адгезии $W_A = \delta \text{ кг} + \delta \text{ тг} - \delta \text{ жт}$, поскольку образовались две единичные поверхности и ликвидирована межфазная поверхность. $\delta \text{ кг}$, $\delta \text{ тг}$, $\delta \text{ жт}$ — поверхностные натяжения на границе жидкость-газ, твердое-газ, жидкость-твердое/.

Часто адгезия играет отрицательную роль. Так, при жарке мясных, рыбных полуфабрикатов прилипание их к жарочной поверхности крайне нежелательно. В этом случае, если материал сильно обводнен, на жарочную поверхность наносится слой уменьшающей адгезию жидкости — жир. Если же продукт содержит много неполярного вещества /жира/, например, слоеное тесто, то жарочную поверхность, наоборот, увлажняют. Обвалка в муке рыбы, а мяса в панировочных сухарях осуществляется для того, чтобы продукты не прилипали к жарочной поверхности и не подгорали.

Играет отрицательную роль адгезия и при транспортировке мясного фарша по трубам в поточных линиях по производству котлет. Дело в том, что мышечная ткань и жировые включения обладают разной адгезией к стенкам труб и происходит засаливание трубопроводов: нарастание на их стенках слоя жиров.

Адгезия затрудняет и формовку изделий. Поэтому при формовке котлет стенки формы посыпают панировочными материалами или смазывают жиром.

При термической обработке пищевых продуктов часто используют различные приемы, противодействующие адгезии. Подсчитано, что от 1 до 5% пищевых продуктов теряется из-за адгезии сырья и полуфабрикатов к производственному оборудованию и оснастке. Если адгезия достаточно высока, то образуется прочный адгезионный шов и при значительных внешних силах /при выемке из форм, снятии обработанной продукции с жарочных поверхностей и т.д./ разрыв происходит не по адгезионному шву, а когезионно-внутри связующей прослойки. Часто наблюдается так называемый мозаичный отрыв: по отдельным участкам площади — чисто адгезионный, а по другим — когезионный.

Уменьшение адгезии весьма актуально в хлебопекарной промышленности. Прилипание теста к различным поверхностям влечет за собой потери тысяч тонн муки ежегодно. Адгезия теста на хлебопекарных заводах проявляется на многих стадиях его подготовки к выпечке: в чанах замеса, в дозирующем устройстве, на транспортных лентах и т.д. Но самый большой вред адгезия приносит при выпечке хлеба. Часть продукта пригорает к формам, и, приходит-

ся очищать и смазывать растительным маслом. Приводятся данные, что при выпечке миллиона тонн хлеба /что несколько больше годового потребления Москвы/ для борьбы с адгезией необходимо затратить тысячу тонн растительного масла и труд четырехсот рабочих. Следовательно, предотвращение адгезии теста напрямую связано с экономией трудовых и материальных ресурсов.

Когда адгезия теста к материалу, из которого изготовлено оборудование, превышает когезию, то тесто отрывается, и часть его неизбежно остается на поверхности. Чтобы преодолеть адгезию, необходимо полностью оторвать заготовку, причем только по поверхности. Но это возможно лишь тогда, когда адгезия будет меньше когезии. Чтобы реализовать это требование, надо либо увеличить когезию, либо снизить его адгезию. Опыт показывает, что второй метод предпочтительнее.

На практике используют три способа: регулирование свойств самого продукта, создание промежуточного слоя, применение антиадгезионных полимерных материалов.

Сила адгезии, естественно, будет определяться площадью соприкосновения теста с подложкой, и для снижения ее эта площадь должна быть минимальна. Установлено, что для теста, изготовленного из муки первого сорта и имеющего влажность 41,5%, площадь контакта формируется за 12 секунд. Если заготовка находится на транспортере менее 12 секунд, то площадь контакта просто не успевает сформироваться и потеря продукта исключена.

Решают эту проблему и другим путем - увеличивают время, необходимое для формирования площади контакта. Тогда можно оставить заготовку на поверхности и более длительное время. Для этой цели в тесто вводятся поверхностно-активные вещества. Иногда для решения этой задачи заготовку теста обдувают воздушной струей, чтобы образовался на поверхности заготовки подсохший слой.

Гораздо чаще для уменьшения адгезии между тестом и поверхностью создают промежуточный слой, например, из муки: обволакивают заготовку в муке. Тогда с поверхностью оборудования контактирует уже не тесто, а мука, адгезия которой к поверхности значительно меньше. Часть муки при этом прилипает к тесту и попадает в изделия, но другая часть теряется, т.е. возникают непродуцируемые потери.

Более рационально использование в качестве прослойки полимер-

ных материалов, так называемых антиадгезивов. Использование антиадгезивов повышает культуру производства и производительность труда. Антиадгезивные покрытия используют в хлебопечении, сыроделии и кулинарной практике. Обязательным условием применения прослойки полимерных материалов является их безвредность и инертность по отношению к пищевому продукту и устойчивость при нагревании. Причем термостойкость должна сохраняться длительное время.

Для оборудования, работающего без нагрева, предпочтение отдают полиэтилену, как более дешевому и доступному материалу. На многих отечественных хлебозаводах уже есть опыт его использования. При этом используемые транспортерные ленты, работающие при нагрузке, снабжаются полотном с нанесенным тонким слоем или с пропиткой его антиадгезивом.

Адгезия полимерных материалов к различным твердым телам определяется интенсивностью молекулярного и химического взаимодействия на поверхности раздела. Высокую адгезию проявляют поэтому полярные полимеры с большим числом химически активных функциональных групп в макромолекулах. Работа адгезии увеличивается, если и жидкость, и твердое тело полярны. Практическое значение имеют две группы полимерных антиадгезивов — фторопластовые и кремнийорганические /полисилоксановые/. Ими могут покрываться нагревающиеся поверхности электроплит. На таких плитах /сковородах/ пища фактически не прилипает и не подгорает. Существуют однако температурные ограничения: для фторопластовой посуды — 200–250°C /выше этой температуры начинается деструкция полимера/. Преимущество полисилоксанов в их термостойкости и дешевизне. По мнению специалистов Московского технологического института мясной и молочной промышленности наиболее перспективны покрытия из полидиметилдифенилсилоксана. У этих покрытий высокая адгезия к металлу, термостойкость их достигает 320–350°C. В то же время по отношению к белковым и крахмалистым продуктам такое покрытие — прекрасный антиадгезив.

Антиадгезивы используются и в производстве экономной тары. Упаковка, покрытая изнутри антиадгезивом, позволяет извлечь из тары продукт в более полном объеме. Для этих целей могут применяться поверхностно-активные вещества, уменьшающие силы адгезии, но их не всегда можно применять. Антиадгезивы, как правило, получают из неполярных /у леводородных/ полимеров. В этом случае адгезия проявляется значительно слабее.