

# Исследование конструктивных схем деаэраторов

**К**ачество молочных продуктов, связанное с наличием кормового привкуса и сохранностью питательных веществ и витаминов, во многом обусловлено присутствием растворенных газов, в первую очередь кислорода, и специфических веществ, определяемых условиями кормления и содержания молочного стада. Большинство исследователей считает, что кормовой привкус молоку придают главным образом метил- и диметилсульфид, кетоны – ацетон, бутанол и спирты – изопропанол, этанол и пропанол [1].

Как известно, процесс удаления растворенных газов определяется законом Генри, согласно которому количество растворенного в жидкости (молочном продукте) газа пропорционально его парциальному давлению в парогазовой смеси над продуктом. При нагреве продукта до температуры кипения давление парогазовой смеси становится равным давлению насыщенного пара воды, а парциальные давления растворенных газов стремятся к нулю. При этом концентрация растворенных в продукте газов также стремится к нулю.

Зависимость равновесного содержания кислорода в воде от температуры и давления парогазовой смеси над ней по коэффициентам растворимости [2] представлена на рис. 1.

Продолжительность процесса выделения растворенных газов при переходе продукта из одного равновесного состояния в другое, с более низкой концентрацией, определяется скоростью выделения (десорбции) газов. С учетом этого была сформулирована задача

разработки конструкции деаэратора, обеспечивающей максимальную скорость десорбции газов при минимизации материалоемкости конструкции.

Процесс удаления растворенных газов объясняется действием двух механизмов:

- дисперсией с выделением растворенного газа в виде мелких пузырьков, которые образуются в объеме продукта, находящегося в состоянии насыщения (кипения);

- диффузией газов через поверхность раздела жидкой и газообразной фаз.

Диффузионное выделение газов происходит в течение всего процесса деаэрации, а дисперсное – только с момента, когда давление водяных паров в паровоздушной смеси достигает со-

стояния насыщения. Дисперсный механизм в сравнении с диффузионным имеет более высокую скорость выделения газов и обеспечивает удаление до 90–95 % растворенных газов, а остальные 5–10 % выделяются путем диффузии [2].

В молочной промышленности в связи с ограничениями по нагреву продукта и спецификой технологической обработки применяются исключительно деаэраторы вакуумного типа. В них состояние кипения продукта создается вакуумированием парогазовой смеси до давления насыщения и ниже при соответствующей температуре подачи продукта в деаэратор.

С учетом научно-технической информации по процессу вакуумной де-

Факторы	Влияние на удаление газов
Давление вакуумирования парогазового пространства при заданной температуре продукта	Уменьшение давления вакуумирования повышает интенсивность выделения растворенных газов
Степень турбулизации продукта при движении в деаэраторе	Перемешивание слоев жидкости интенсифицирует выделение газов из более глубоких слоев продукта
Время пребывания продукта в деаэраторе	Увеличение времени пребывания в деаэраторе снижает содержание растворенных в продукте газов
Толщина пленки и струй, размер капель продукта	Уменьшение этих параметров увеличивает количество выделившихся газов

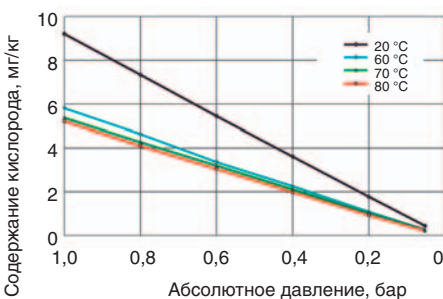


Рис. 1. Равновесное содержание кислорода в воде

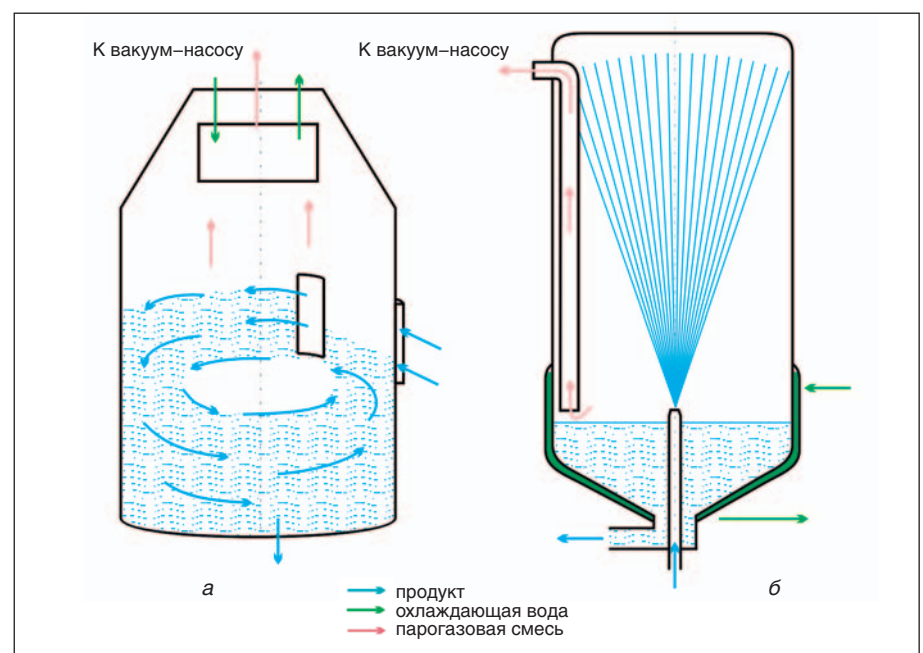


Рис. 2. Схемы подачи продукта в деаэратор: а – тангенциальная; б – струйная

аэрации были выделены основные факторы, влияющие на качество удаления растворенных газов (см. таблицу).

На следующем этапе проектирования были проанализированы конструкции деаэрационного оборудования, выпускаемого российскими и зарубежными фирмами для молочной промышленности. Установлено, что организация процесса распыления продукта в деаэраторе в основном выполняются по двум схемам (рис. 2):

- при тангенциальной подаче в деаэратор, обеспечивающей образование пленки продукта, которая вращается по стенке аппарата (центробежно-пленочный деаэратор);
- при подаче продукта в виде струй, распадающихся на капли (струйно-капельный деаэратор).

Анализ схем выявил следующие преимущества тангенциальной подачи:

1. Движение пленки по стенке центробежно-пленочного деаэратора и вращение столба продукта в нижней части корпуса обеспечивают перемешивание слоев продукта (повышение турбулизации), что способствует более эффективному выделению растворенных газов. В струйно-капельных деаэраторах, наоборот, слои продукта в нижней части деаэратора неподвижны относительно друг друга.

2. Центробежный эффект обеспечивает отделение газовой фазы, образуемой в результате дисперсного механизма деаэрации.

Для обеспечения включения дисперсного механизма деаэрации продукта выполнены:

- расчет количества выпара (жидкой фазы, выпаренной при деаэрации) в зависимости от перегрева продукта;
- расчет конденсатора выпара, температуры и расхода охлаждающей воды;

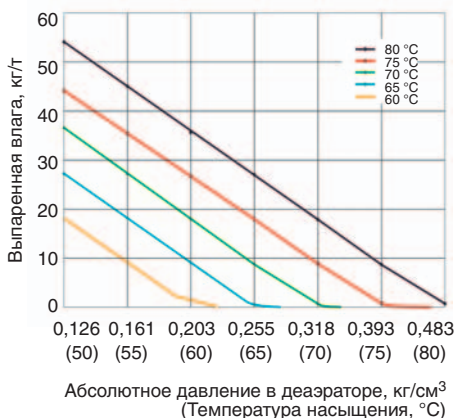


Рис. 3. Зависимость количества выпаренной влаги от режима деаэрации

• подбор вакуумного насоса по производительности.

В результате проведенных расчетов получена зависимость количества выпара от давления вакуумирования и температуры подаваемого продукта (рис. 3).

Из расчетов следует, что при перегреве продукта на 5 °C выпаривается около 9 кг на 1 т деаэрируемого продукта, что при планируемой производительности деаэратора 5 м³/ч составит 45 кг/ч. При удельной теплоте конденсации пара 2400 кДж/кг потребуются отвод 30 кВт тепла.

Проведенный анализ существующих схем со струйной подачей продукта (рис. 4) выявил следующие недостатки.

Чтобы обеспечить работу деаэратора по схеме а (см. рис. 4) при интенсификации газовыделения, т. е. подачи перегретого продукта, нужна значительная площадь поверхности теплообмена парогазовой смеси с окружающим воздухом, а также дополнительное охлаждение водой столба продукта в нижней части деаэратора. В конечном итоге это приводит к увеличению габаритных размеров и металлоемкости конструкции.

Подача продукта по схеме б, с нашей точки зрения, приводит к сокращению времени нахождения продукта в деаэрационной камере и уменьше-

нию выделения газов. Компенсация этого нежелательного эффекта за счет увеличения перегрева продукта, достигаемого более глубоким вакуумированием, влечет за собой негативные последствия:

- увеличивается количество выпара, для конденсации которого возникает необходимость применять два конденсатора;
- снижение давления вакуумирования уменьшает кавитационный запас отсасывающего насоса, для компенсации которого необходимо увеличивать геометрическую высоту установки;
- возрастают требования к герметичности вакуумной системы деаэратора.

В результате проведенного анализа принято решение на разработку конструкции центробежно-пленочного деаэратора с тангенциальной подачей продукта (рис. 5). Техническое задание на проектирование включало разработку деаэраторов производительностью по продукту 5, 10, 15 м³/ч. При этом была поставлена задача разработки встроенного эффективного охладителя выпара, обеспечивающего проведение санитарной обработки.

На предварительных испытаниях деаэратора с патрубком тангенциальной подачи в виде трубы и конического дна типовой конструкции выявлено отрицательное влияние образования глу-

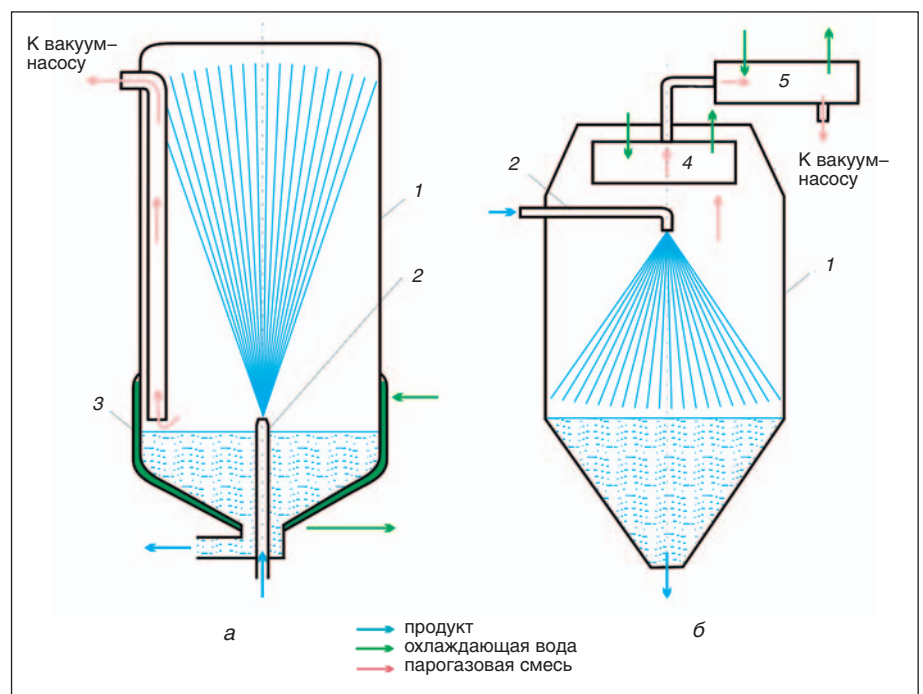


Рис. 4. Существующие варианты схем со струйной подачей продукта в деаэратор: а — подача снизу вверх; б — подача сверху вниз; 1 — корпус деаэратора; 2 — патрубок подачи; 3 — охлаждающая рубашка; 4 — встроенный конденсатор выпара; 5 — дополнительный конденсатор выпаренного продукта

бокой воронки (рис. 6) на устойчивость работы откачивающего насоса.

Выполненные расчеты формы воронки в зависимости от диаметра деаэрата, скорости подачи продукта позволили создать оригинальные конструкции подающего патрубка продукта и формы дна (рис. 7). Таким образом было обеспечено эффективное гашение воронки и устойчивость работы откачивающего насоса. Конструкция подающего патрубка формирует тонкую пленку продукта, увеличивая площадь выделения газов (рис. 8).

Разработанная конструкция конденсатора выпара, встроенного в верхнюю крышку, обеспечивает качественное проведение санитарной обработки. Кон-

денсация паров за счет оригинальной конструкции каналов для охлаждающей воды, увеличивающих турбулентность потока и теплообмен, обеспечивает работу деаэрата при подаче продукта, перегретого на 4–5 °С.

Анализ в аккредитованной лаборатории проб воды до и после деаэрации при различных давлениях вакуумирования показал, что содержание растворенного кислорода (рис. 9) близко к его расчетной равновесной концентрации (см. рис. 1). Это свидетельствует о хорошем качестве организации процесса десорбции газов.

Дополнительно были исследованы пробы воды на содержание ацетона и этанола, определяющих кормовой при-

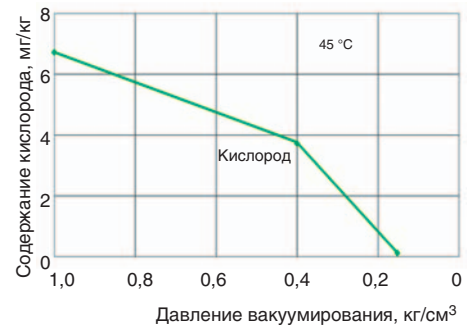


Рис. 9. Зависимость содержания кислорода от давления вакуумирования

вкус молока. Согласно оценочным расчетам и результатам испытаний при подаче в деаэрат продукта, перегретого на 4–5 °С, концентрация веществ, придающих привкус молочным продуктам, снижается в 8–10 раз по отношению к исходной равновесной концентрации при 20 °С.

В результате проведенных исследований можно сделать вывод о преимуществе применения центробежно-пленочных схем работы деаэратов. С нашей точки зрения, преимущество в основном определяется действием центробежного эффекта разделения газовой и жидкостной фаз при включении дисперсионного механизма выделения из продукта растворенных газов и перемешиванием слоев продукта в пленке и столбе вращающегося продукта, увеличивающим интенсивность выделения газов. В конечном итоге это позволяет уменьшить габариты, металлоемкость и упростить конструкцию оборудования.

Канд. техн. наук **В.М. РУССКИХ**  
Инженер **М.Я. ИГНАТЬЕВ**

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горбатова К.К. Химия и физика молока. – СПб.: ГИОРД, 2004.
2. Труб И.А., Литвин О.П. Вакуумные деаэраты. – М.: Энергия, 1967.
3. Шарпов В.И., Цюра Д.В. Термические деаэраты. – Ульяновск: УлГТУ, 2003.
4. Лифшиц О.В. Справочник по водоподготовке котельных установок. – М.: Энергия, 1976.
5. Грамогласов А.А., Копылов А.С., Пильщиков А.П. Водоподготовка: процессы и аппараты. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
6. Кук Г.А. Процессы и аппараты молочной промышленности. – М.: Пищевая промышленность, 1973.
7. Белан Ф.И. Водоподготовка. – М.: Энергия, 1979.
8. Кастальский А.А. Проектирование устройств для удаления из воды растворенных газов в процессе водоподготовки. – М.: Госстройиздат, 1957.



Рис. 5. Вариант деаэрата с коническим дном



Рис. 7. Вариант деаэрата новой конструкции



Рис. 6. Вид характерной глубокой воронки, способствующей подхвату воздуха откачивающим насосом



Рис. 8. Образование тонкой пленки на стенке деаэрата при подаче жидкости через специальный патрубок