Выбор воздухоохладителя для агрохранения: роль геометрии трубного пучка

О. С. Апицына, **канд. техн. наук, инженер 1 категории ООО «ТЕРМА»**

Проблема, которую не видно на первый взгляд

При подборе воздухоохладителей для холодильных камер хранения обычно сравнивают холодопроизводительность, температурный режим и энергопотребление. Но экономику объекта определяет не только это. Часть продукции не дойдет до покупателя после сезона хранения, и эти потери напрямую уменьшают выручку производителя.

У потерь есть несколько причин. Первая – усушка: потеря массы из-за испарения влаги с поверхности продукта. Обезвоженный продукт теряет товарный вид, и его рыночная стоимость падает еще до того, как потеря массы выйдет за допустимые пределы.

Вторая – температурная нестабильность. Даже кратковременные колебания температуры ускоряют созревание, а конденсат на продукте создает условия для плесени и гнилей. Даже если потери по массе окажутся в пределах нормы, партия может стать негодной из-за очагов порчи. Оба фактора в значительной степени зависят от работы воздухоохладителя: от распределения потока воздуха и от перепада между температурой кипения хладагента и температурой воздуха в камере.

Приказ Минпромторга России № 252 от 01.03.2013 задает нормы естественной убыли при длительном хранении: отдельно по продуктам, типам складов и периодам хранения. В эту убыль входит, в частности, усушка. Например, естественная убыль картофеля на складах с искусственным охлаждением составляет 0,5–1,0 % в месяц, а зимних яблок – 0,25–1,0 % в месяц. Масштаб легко оценить: при 1 % в месяц за пять месяцев хранения 100 т продукции теряют около 5 т. Эти объемы уже оплачены производителем, но реализации не подлежат.

Снизить эти потери помогает грамотно организованный теплообмен в камере. И здесь важна не только площадь поверхности аппарата, но и геометрия трубного пучка: то, как воздух проходит через теплообменник. По нашему опыту, именно этот параметр чаще всего упускают при выборе оборудования для хранения.

Физика влагоудаления: почему продукт сохнет

Влага испаряется с поверхности продукта в воздух камеры. Интенсивность процесса зависит от разницы парциальных давлений водяного пара у поверхности продукта и в воздухе.

Проходя через оребренный пучок воздухоохладителя, воздух охлаждается ниже точки росы, и часть влаги оседает на ребрах (при отрицательных температурах – в виде инея). Чем холоднее поверхность теплообмена относительно воздуха, тем меньше влаги в нем остается. При оттайке эта влага уходит в дренаж вместе с талой водой, то есть покидает камеру безвозвратно. В установившемся режиме это в основном та влага, которая ранее испарилась с продукта.

Количество влаги, которое аппарат выводит из камеры, определяется влажностным балансом:

$$\Delta W = G\,(d_1 - d_2),$$

где ΔW – расход удаляемой из воздуха влаги (скорость конденсации), кг/с;

G – массовый расход воздуха через аппарат, кг/с;

d_1, d_2 – влагосодержание воздуха соответственно на входе и на выходе, кг/кг сух. возд. Влагосодержание d_2 близко к насыщению при температуре поверхности теплообмена, то есть зависит от того, насколько поверхность холоднее воздуха.

Ключевая величина, которая связывает все это с конструкцией аппарата, – перепад температур между температурой воздуха в камере и температурой кипения хладагента, Δt. Чем больше Δt, тем интенсивнее конденсация и тем суше воздух, омывающий продукт.

Отсюда следует практический вывод: чтобы снизить усушку, нужно уменьшить перепад

температур. Зависимость Δt от параметров аппарата дает уравнение теплопередачи:

$$Q = k F \Delta t,$$

где Q – отводимая тепловая мощность, Вт;

k – коэффициент теплопередачи, Вт/(м^2·К);

F – площадь поверхности теплообмена, м^2;

Δt – температурный напор, К.

При заданной мощности Q и постоянном коэффициенте теплопередачи k увеличение площади F позволяет пропорционально снизить Δt.

Именно поэтому в аппаратах, рассчитанных на бережное хранение продукта, площадь теплообмена часто делают заведомо больше, чем в универсальных моделях: это один из способов уменьшить количество влаги, уходящей с конденсатом. Однако увеличение площади изменяет и сам коэффициент теплопередачи, значение которого определяется характером движения воздуха в пучке.

Типы трубных пучков: шахматный и коридорный

В большинстве воздухоохладителей применяется шахматная схема: каждый следующий ряд труб смещен относительно предыдущего. Поток воздуха при этом постоянно меняет направление, омывает трубы под разными углами и интенсивно перемешивается. За счет этой турбулизации шахматный пучок дает высокую мощность на единицу площади, поэтому такая схема компактна и эффективна для широкого круга задач. Эта особенность сказывается и на осушении воздуха: перемешанный воздух интенсивнее омывает холодную поверхность и глубже охлаждается (d_2 ниже), а значит, из него выводится больше влаги. Поскольку конденсат и иней распределяются по всему объему пучка, частоту циклов оттайки подбирают с учетом такого распределения. Для продукции, нечувствительной к усушке, или для камер с высокой влажностью это скорее достоинство. В шахматной геометрии выполнены классические линейки воздухоохладителей компании «ТЕРМА»: двухпоточные UDR и кубические UCR. Это оптимальный выбор для универсальных задач.

Коридорная схема устроена иначе: трубы расположены строго друг за другом, ряд в ряд, без смещения. Воздух движется между трубами по относительно прямым «коридорам» и слабее перемешивается с соседними струями. Часть потока проходит пучок по межтрубным каналам, слабее контактируя с теплообменной поверхностью, поэтому воздух охлаждается менее глубоко (d_2 выше), а влаги из него выводится меньше. Для продукции, чувствительной к усушке, это достоинство:

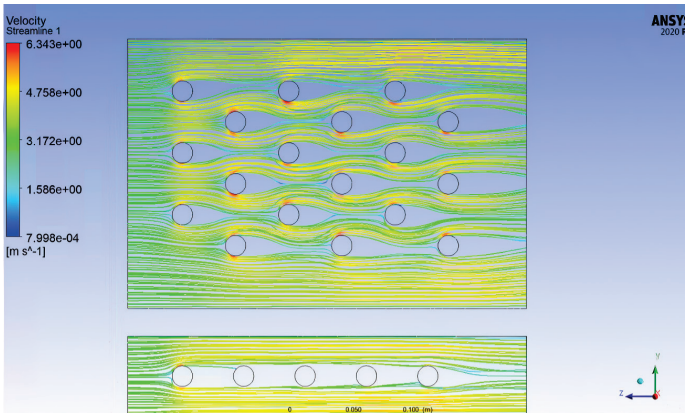


Рис. 1. Поле скоростей в шахматной геометрии

воздух в камере остается более влажным. Инея на ламелях образуется меньше, и оттайку можно проводить реже. Это снижает энергопотребление на оттайку, сокращает простои и износ оборудования. Такая геометрия реализована в линейке «АГРО» компании «ТЕРМА», которая изначально проектировалась под хранение фруктов и овощей.

Коридорная схема не является универсально лучшим решением. В классических гладкотрубных пучках она уступает шахматной по теплоотдаче: трубы предыдущего ряда затеняют часть последующих и коэффициент теплоотдачи ниже. В линейке «АГРО» это компенсировано площадью: поверхность охлаждения вдвое больше, чем у аналогичных по габаритам моделей кубической серии. Большая площадь дает ту же холодопроизводительность при меньшем перепаде между воздухом и температурой кипения, а значит, меньше конденсата и меньше усушки.

Граница между схемами не абсолютна. Если в шахматном пучке увеличить продольный шаг, то при формально смещенных рядах поток между ними успевает «успокоиться» и выровняться раньше, чем встретит следующий ряд. Струи, обтекшие трубу, не доходят до следующей в турбулентном виде, перемешивание слабеет, и пучок начинает вести себя как коридорный. Такую геометрию инженеры «ТЕРМА» называют

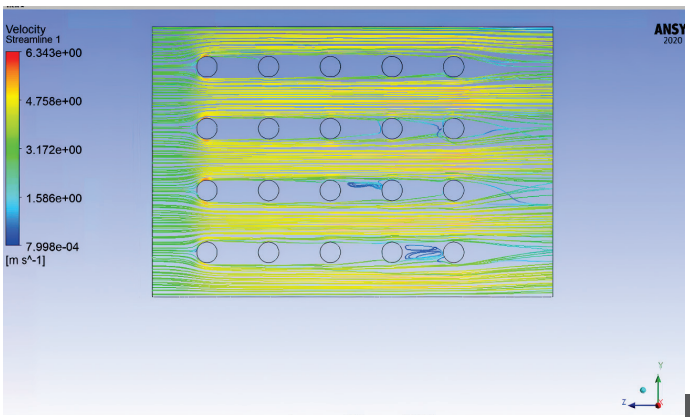


Рис. 2. Поле скоростей в коридорной геометрии

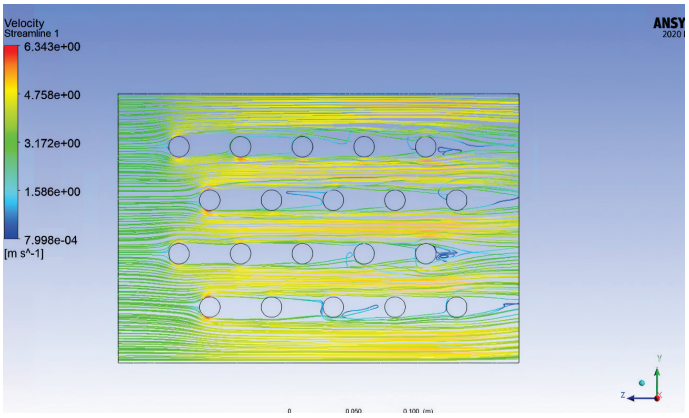


Рис. 3. Поле скоростей в псевдокоридорной геометрии



Рис. 4. Воздухоохладитель «АГРО» компании «ТЕРМА» со стороны дефлекторов

псевдокоридорной: по расположению труб она шахматная, а по характеру течения это коридор. Таким образом, схема расположения труб сама по себе не определяет режим обтекания. Решающими оказываются соотношение шагов и скорость потока, и это позволяет получить «спокойное» течение без отказа от смещения рядов.

Обдув продукта: почему важен не только пучок

Геометрия пучка определяет, как воздух проходит через теплообменник, но на сохранность продукта влияет и то, как он выходит из аппарата и движется по камере. Испарение с поверхности растет со скоростью обтекания, поэтому даже аппарат, идеально подобранный по холодопроизводительности, может давать повышенную усушку, если поток направлен прямо на продукт.

Воздух нужно подать так, чтобы он не попадал на продукт струей, а доходил до него уже мягким и рассеянным. В линейке «АГРО» эта задача решена применением малой скорости на выходе: вентиляторы диаметром 500 мм (от одного до шести на аппарат) установлены со стороны задней панели и нагнетают воздух на теплообменный блок, далее поток распределяется по всему живому сечению, что дает скорость воздуха на выходе из аппарата около 3 м/с. По мере расширения струи скорость в зоне хранения снижается еще сильнее.

У потока с малой начальной скоростью есть цена: малая дальнобойность. Ее компенсируют дефлекторы. За счет эффекта Коанда струя прижимается к потолку и проходит заметно дальше, что снижает риск застойных зон в дальних углах камеры. Поток не дует на продукт прямо: он мягко опускается с потолка, и обдув в зоне хранения получается слабее.

Эффект сохраняется, пока струе ничего не мешает, например штабели, размещенные под самым потолком.

В результате воздух распределяется по камере равномернее, а участков с чрезмерным обдувом становится меньше. Без застойных зон температура выравнивается по камере, а значит, ниже риск локального конденсата и очагов порчи. Для хранения фруктов и овощей это сопоставимо по значимости с выбором геометрии пучка: правильная схема теплообменника не спасет, если поток в камере организован плохо.

Заключение

Выбор схемы трубного пучка не сводится к вопросу «какая эффективнее» в отвлеченном смысле. Для технического охлаждения шахматная схема остается оправданным выбором. Для хранения сельхозпродукции, где каждая потерянная тонна означает прямые убытки, коридорная геометрия с увеличенной площадью поверхности позволяет вести процесс при малой разности температур воздуха и поверхности, а мягкий поток в камере, организованный дефлекторами, снижает обдув продукта. Вместе это дает возможность управлять влажностным режимом за счет самой конструкции аппарата. Конечным критерием служит не расчетный коэффициент теплоотдачи, а сохранность продукции к концу сезона хранения.

Если нужно подобрать аппарат под конкретный объект, специалисты нашей компании помогут выбрать наилучший вариант. А если аппарат уже нужно заложить в проект, специально для проектировщиков на сайте «ТЕРМЫ» www.terma.pro в разделе «Документация» появился плагин, через который можно скачать 3D-модели без лишних запросов.

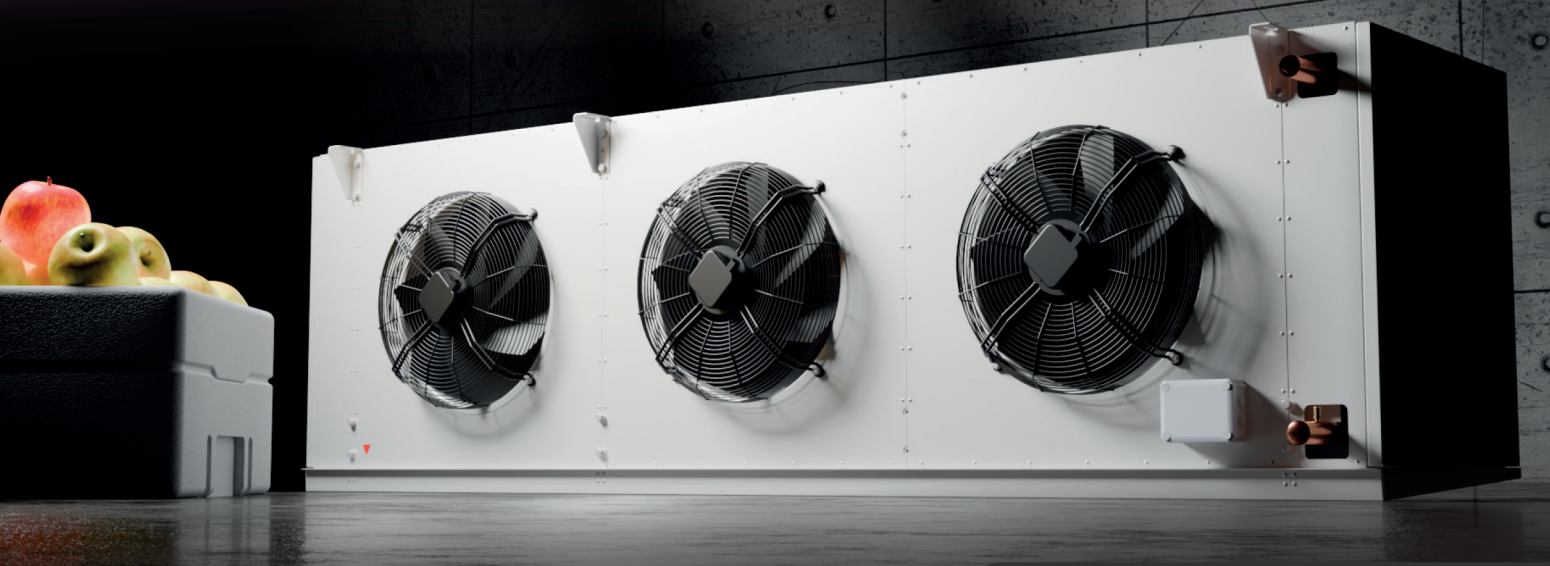
ООО «ТЕРМА»
8 800 100 14 30
info@terma.pro

РОССИЙСКИЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬ
ТЕПЛООБМЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Терма

ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛИ
АГРО

ДЛЯ БЕРЕЖНОГО ХРАНЕНИЯ
ОВОЩЕЙ И ФРУКТОВ



Опции

- Оттайка теплообменного блока и поддона
- Нержавеющий корпус
- Изолированный поддон

ПРЕИМУЩЕСТВА

Влагосбережение
Минимальная потеря влаги и усушка

Долговечность
Снижение риска порчи продукции

Защита
Долгий срок службы оборудования

Практичность
Удобство технического обслуживания

КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

Вентиляторы
расположены со стороны задней панели

Теплообменный блок
с увеличенной площадью

Оцинковка
Корпус из оцинкованной стали

Конструкция
Прочный корпус со съемными панелями

ООО ТЕРМА | 8 800 100 14 30 | www.terma.pro | info@terma.pro

Реклама


ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛИ |

ДРАЙКУЛЕРЫ |

КОНДЕНСАТОРЫ |

ТЕПЛООБМЕННЫЕ БЛОКИ |

ТЕПЛОВЕНТИЛЯТОРЫ |

ЗАВЕСЫ