

УДК 621.565

Влияние эксплуатационных влагопритоков на тепловлажностные процессы в камерах хранения мороженных продуктов

Канд. техн. наук Ю. А. МИРОНЧУК

Mironchuk_YA@i.ua

Институт холода, криотехнологий и экоэнергетики им. Мартьяновского В. С.

Одесской национальной академии пищевых технологий

65082, Украина, г. Одесса, ул. Дворянская, 1/3

Для камер хранения мороженных продуктов проведено сопоставление интенсивностей поступления влаги от различных источников.

Рассмотрены тепловлажностные процессы в камерах с интенсивными эксплуатационными источниками тепло- и влаговыделений для теоретических схем циркуляции воздуха. Установлено, что влияние эксплуатационных притоков тепла и влаги на интенсивность процессов усушки и образования инея в определенной мере зависит от особенностей схемы циркуляции воздуха по объему камеры. Предпочтительна устойчивая к внешним возмущающим воздействиям схема циркуляции воздуха с приточным вентилированием штабеля продукта, обеспечивающая минимизацию усушки, минимизацию скорости образования инея. Показаны пути снижения интенсивности усушки и образования инея.

Ключевые слова: холодильная камера хранения, усушка в холодильной камере, образование инея в холодильной камере, система охлаждения холодильной камеры.

The influence of the operational inflows of moisture on the thermo-hydro processes in the storage chambers of frozen food stuffs

Ph. D. Yu. A. MIRONCHUK

Mironchuk_YA@i.ua

*The institute of Refrigeration, cryogenic technologies and
ecological energetics named Martynovsky V. S.
of Odessa National Academy of Food Technologies*

The comparison of intensity of moisture intake from different sources for the storage chambers of frozen foodstuff is shown. Thermo-hydro processes in the chambers with intensive operating sources of heat and moisture for theoretical scheme of air circulation have been analyzed. Influence the operating heat and moisture inflow on the intensity of the shrinkage and hoarfrost formation processes has been proved to depend on the scheme of the air flow circulation in the chamber to the great extent. The environmentally stable air circulation system with forced draft of the stack minimizes the shrinkage and hoarfrost formation processes. The ways of reducing the shrinkage and hoarfrost formation process intensity are shown.

Keywords: refrigerating storage chamber, the shrinkage process in refrigerating chamber, formation of hoarfrost in refrigerating chamber, cooling system of refrigerating chamber.

В общем случае, влага в холодильные камеры поступает вследствие процесса усушки хранимого продукта, от работающих в помещении людей и с вентиляционным воздухом. Влияние схемы циркуляции воздуха по объ-

ему камеры хранения на протекание тепловлажностных процессов для случая, когда единственным источником влаги в камере была усушка хранимого продукта, было рассмотрено в работе [1]. При нормативном годовом грузообороте распределительного холодильника $\approx 300\%$ [2] и при шестидневной рабочей неделе суточное обновление груза составляет $\approx 1\%$ вместимости камер. При столь низком среднесуточном объеме грузовых работ в камерах большую часть времени персонала нет, подача вентиляционного воздуха не требуется, освещение выключено.

На сегодняшний день, в крупных мегаполисах многие холодильники круглогодично работают на привозном сырье [3] и выполняют функции перевалочных пунктов с высокой кратностью грузооборота и, соответственно, высокой длительностью пребывания персонала в камерах. Для такого случая сопоставление интенсивностей влагопритоков от различных источников можно провести, опираясь на нормативные данные.

Для условий средней климатической зоны нормативная усушка при хранении замороженного мяса в камерах с батарейным и смешанным охлаждением одноэтажных холодильников емкостью от 300 т и выше, составляет 0,26% для свинины и 0,34% для говядины за один летний месяц хранения [4, 5].

Работа обслуживающего персонала в подобных камерах сопровождается тепловыделениями ≈ 350 Вт на одного работающего [2]. Часть тепла выделяется в явной форме, а часть в скрытой — вместе с водяными парами при дыхании и потоотделении. От персонала явные тепловыделения конвективным путем передаются внутрикамерному воздуху и лучистым путем — к поверхности ограждения и поверхности продукта. Тепло, поступающее к продукту, вызывает испарение из него влаги — дополнительную усушку. В предельном случае можно принять, что все тепловыделения от людей, работающих

в холодильной камере, в конечном итоге будут преобразованы в скрытую форму. При этом влаговыделения составят до $\approx 0,438$ кг/ч на одного работающего.

Согласно санитарным нормам, приток наружного воздуха для вентиляции производственных зданий без окон и фонарей определяется условиями недопустимости превышения предельной концентрации углекислого газа, выделяемого при дыхании и должен составлять не менее $40 \text{ м}^3/\text{ч}$ на одного человека [6]. Для Санкт-Петербурга расчетная летняя температура воздуха составляет 27°C , расчетная относительная влажность 59%. Влаго содержание воздуха при этом составляет 13,4 г водяного пара на 1 кг сухого воздуха. При температуре в камере хранения -20°C влаго содержание насыщенного воздуха $\approx 0,6$ г водяного пара на 1 кг сухого воздуха. Если наружный вентиляционный воздух (с плотностью $\approx 1,2 \text{ кг}/\text{м}^3$) подается прямо в камеру без никакой предварительной обработки, то интенсивность поступления избыточной влаги с вентиляционным воздухом составляет $\approx 0,61$ кг/ч на одного человека.

Для камеры хранения вместимостью 100 т говядины поступление влаги от усушки составит 0,47 кг/ч. При работе в камере 2-х людей влаговыделения от них составят до 0,88 кг/час, а поступление влаги с вентиляционным воздухом — до 1,22 кг/ч [2]. Из суммарного влагопритока 2,57 кг/ч, до 80% связано с пребыванием в камере людей. При увеличении вместимости камеры до 1000 т влагопоступления от усушки составят 4,72 кг/ч. Нормативное количество работающих возрастет до 4-х. Влагопоступление от них составит 1,75 кг/ч, а влагопоступление с вентиляционным воздухом — 2,44 кг/ч. Из суммарного влагопритока 8,91 кг/ч, до 47% связано с пребыванием людей.

Рассмотрим тепловлажностные процессы в камерах с интенсивными эксплуатационными источниками тепло- и влаговыделений для теоретических схем циркуляции воздуха по объему камеры хранения из [1].

Процессы изменения состояния влажного воздуха для камеры с вытяжной схемой вентилирования изолированного штабеля продукта показаны на рис. 1.

При отсутствии в камере дополнительных тепло- и влагопритоков, связанных с пребыванием персонала, изменение состояния влажного воздуха происходит по циклу $1-2-3-4-1$, в котором: $1-2$ — процесс поглощения теплопритока от вентилятора воздухоохладителя и теплопритока через ограждение; $2-3$ — процесс теплообмена между влажным воздухом и продуктом в изолированном штабеле; $3-4-1$ — процесс охлаждения и осушения воздуха в воздухоохладителе. Температура продукта стремится к точке M_1 .

При наличии в камере тепло- и влаговыделений от работающих людей и от вентиляции, изменение состояния влажного воздуха можно представить циклом $1-2-5-6-7-1$. В этом цикле процесс $2-5$ — это процесс поглощения тепла и влаги, выделяемых людьми и приносимых с вентиляционным воздухом. В этом же процессе поглощаются тепловыделения от освещения и от работающих в камерах транспортно-грузовых механизмов.

В результате протекания в камере процесса $2-5$ происходит смещение процесса в штабеле с положения $2-3$ в положение $5-6$. Температура продукта стремится сместиться из положения M_1 в положение M_2 . Интенсивность усушки в процессе $5-6$ по сравнению с процессом $2-3$ может как уменьшиться, так и увеличиться — это зависит от пути процесса $2-5$.

В силу перемещений персонала, груза, открывания и закрывания дверей путь процесса $2-5$ стохастично изменяется, что приводит к стохастическим колебаниям температуры продукта. Для стабилизации положения точки M требуется непрерывная компенсирующая корректировка положения точки 1 путем регулирования процесса $6-7-1$ в воздухоохладителе — для этого система автоматического управления воздухоохладителем должна иметь способность предугадывать наперед сценарий стохастических событий в камере для процесса $1-2-5$, что принципиально невозможно.

Таким образом, схема циркуляции воздуха с вытяжным вентилированием штабеля неустойчива к внешним воздействиям (теплопритоки, влагопритоки) и принципиально неспособна обеспечить поддержа-

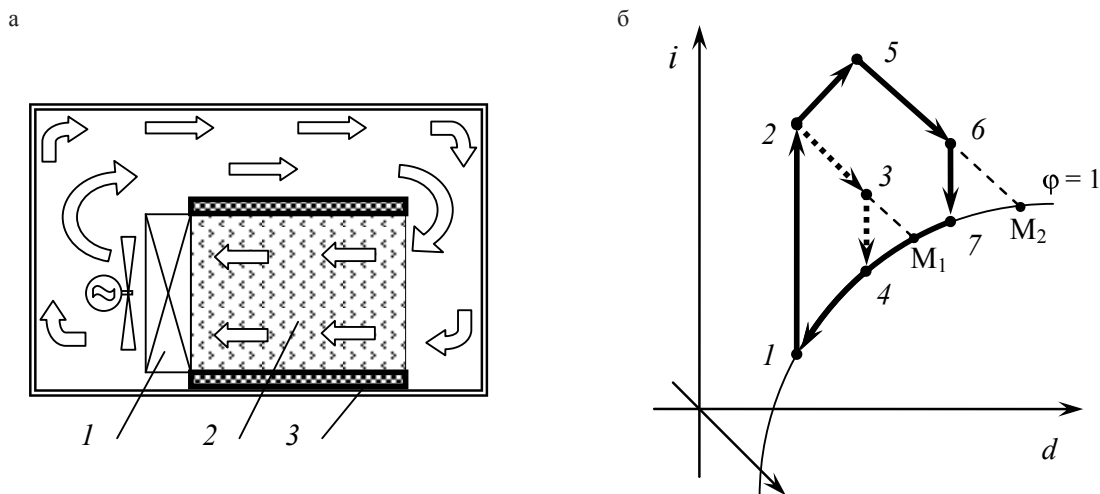


Рис. 1. Холодильная камера с вытяжным вентилированием штабеля;

а — схема циркуляции воздуха по объему камеры: 1 — воздухоохладитель; 2 — штабель продукта; 3 — изоляция боковых поверхностей штабеля; б — изменение состояния влажного воздуха

ние постоянства температуры продукта. Относительное сохранение стабильности температуры продукта за счет его высокой тепловой инерции возможно только при непродолжительных внешних тепловлажностных воздействиях.

Указанных недостатков лишена схема циркуляции воздуха с приточным вентилированием штабеля продукта, показанная на рис. 2.

При отсутствии в камере дополнительных тепло- и влагопритоков, связанных с пребыванием персонала, изменение состояния влажного воздуха происходит по циклу $1-2-3-2-1$, в котором: $1-2$ — процесс теплообмена между влажным воздухом и продуктом в изолированном штабеле; $2-3$ — процесс поглощения теплопритока через ограждение и теплопритока от вентилятора воздухоохладителя; $3-2-1$ — процесс охлаждения и осушения воздуха в воздухоохладителе. Точка П характеризует температуру продукта.

При проведении в камере грузовых работ изменение состояния влажного воздуха будет протекать по циклу $1-2-3-4-5-1$, в котором $3-4$ — это процесс поглощения дополнительных поступлений тепла и влаги, связанных с работой в камере людей.

В результате протекания в камере процесса $3-4$ температура и влагосодержание воздуха на входе в воздухоохладитель возрастают. При этом процесс обработки воздуха в воздухоохладителе смещается с положения $3-2-1$ в положение $4-5-1$. Для поддержания стабильной температуры продукта в штабеле необходимо увеличить холодопроизводительность воздухоохладителя так, чтобы положение точки 1 сохранилось неизменным. Автоматическое управление работой воздухоохладителя следует осуществлять по сигналам датчиков температуры в точках 4 и 1. Поскольку стохастичный процесс $3-4$ происходит на обратном пути воздуха от штабеля к воздухоохладителю, то системе автоматического управления всегда будет известен его результат (фактическое значение температуры в точке 4) без необходимости предсказаний, которые требуются для схемы с вытяжным вентилированием.

С отводом камерных влагопритоков и влаговыделений неразрывно связана проблема образования инея. При его высокой интенсивности приходится либо увеличивать частоту проведения оттаиваний, либо увеличивать проектную площадь теплообменных поверхностей камерных приборов охлаждения для возможности их длительной работы с повышенной толщиной инея. Очевидно, что для снижения скорости образования инея необходимо снижение интенсивности влагопритоков и влаговыделений.

Приток влаги в камеру с вентиляционным воздухом можно полностью устранить, применив предварительное охлаждение и осушение приточного воздуха во внешнем воздухоохладителе. При этом для снижения энергозатрат необходима рекуперация холода от потока воздуха, удаляемого из вентилируемой камеры. Оттаивание внешнего воздухоохладителя проще организовать, его проведение не нарушает тепловлажностного режима камеры.

Интенсивность преобразования явных тепловыделений от работающих в камере людей и механизмов в скрытую форму зависит от схемы циркуляции воздуха. При вытяжной схеме вентилирования штабеля (см. рис. 1) явные теплопритоки, ассимилированные воздухом в $1-2-5$, переносятся к продукту и в конечном итоге вызывают повышение усушки с соответствующим увеличением интенсивности инееобразования. При приточной схеме вентилирования штабеля (см. рис. 2) явные теплопритоки, ассимилированные воздухом в $2-3-4$, отводятся в воздухоохладителе сухим путем.

Влагоприток от усушки является минимальным при циркуляции воздуха в камере по схеме приточного вентилирования изолированного штабеля продукта [1].

Для камер хранения мороженых грузов схема циркуляции воздуха с приточным вентилированием штабеля продукта предпочтительна по всем показателям. Она обеспечивает минимизацию усушки, минимизацию скорости образования инея, устойчива к внешним возмущающим воздействиям (теплопритоки, влагопритоки), удобна для автоматизации управления воздухоохладителем, способна обеспечить стабильное поддержание заданной температуры продукта.

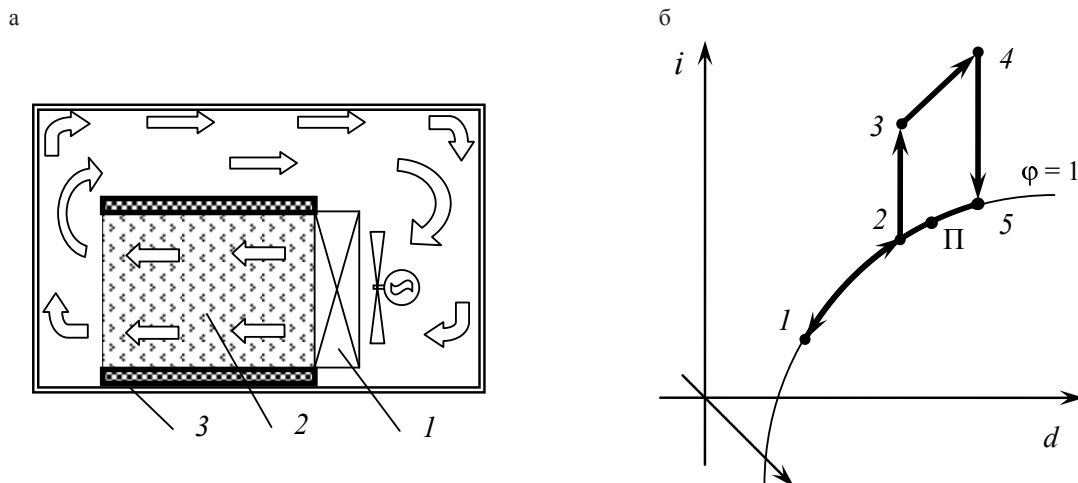


Рис. 2. Холодильная камера с приточным вентилированием штабеля.

а — схема циркуляции воздуха по объему камеры: 1 — воздухоохладитель; 2 — штабель продукта; 3 — изоляция боковых поверхностей штабеля; б — изменение состояния влажного воздуха

Список литературы

1. Мирончук Ю. А., Чепурненко В. П. Влияние устройства системы воздушного охлаждения на усушку при хранении продуктов. // Вестник Международной академии холода. 2013. №3. С. 38–42.
2. Явнель Б. К. Курсовое и дипломное проектирование холодильных установок и систем кондиционирования воздуха. — 3-е изд., перераб. и доп./Б. К. Явнель — М.: Агропромиздат, 1989. 223 с.
3. Элит А. Я. Методика расчета теплопритоков в охлаждаемый объект с учетом их динамики. // Вестник Международной академии холода. 1998. №3–4.
4. Примеры расчетов по курсу «Холодильная техника»/Г. Д. Аверин, А. М. Бражников, А. И. Васильев, Н. Д. Малова. — М.: Агропромиздат, 1986. 183 с.
5. Приказ Минсельхоза РФ от 16.08.2007 г. №395 «Об утверждении норм естественной убыли мяса и мясопродуктов при хранении».
6. Баркалов Б. В., Карпис Е. Е. Кондиционирование воздуха в промышленных, общественных и жилых зданиях. — 2-е изд., перераб. и доп./Б. В. Баркалов, Е. Е. Карпис. — М.: Стройиздат, 1982. 312 с.

References

1. Mironchuk Ju. A., Chepurnenko V. P. // *Vestnik Mezh-dunarodnoj akademii holoda*. 2013. No 3. pp. 38–42.
2. Javnel' B. K. *Kursovoe i diplomnoe proektirovanie holodil'nyh ustanovok i sistem kondicionirovanija vozduha*. — 3-e izd., pererab. i dop./B. K. Javnel' — M.: Agropromizdat, 1989. 223 p.
3. Eglit A. Ya. *Vestnik Mezh-dunarodnoj akademii holoda*. 1998. No 3–4.
4. *Primery raschetov po kursu «Holodil'naja tehnika»*/G. D. Averin, A. M. Brazhnikov, A. I. Vasil'ev, N. D. Malova. — M.: Agropromizdat, 1986. 183 p.
5. *Priraz Minsel'hoza RF ot 16.08.2007 g. №395 «Ob ut-verzhdanii norm estestvennoj ubyli mjasa i mjasoproduktov pri hranenii»*.
6. *Barkalov B. V., Karpis E. E. Kondicionirovanie vozduha v promyshlennyh, obshhestvennyh i zhilyh zdaniyah*. — 2-e izd., pererab. i dop./B. V. Barkalov, E. E. Karpis. — M.: Strojizdat, 1982. 312 p.



9-12 сентября 2014 г.
ВЦ «Екатеринбург-Экспо»

I Международная выставка и конференция

НЕФТЬ И ГАЗ
БОЛЬШОГО УРАЛА

При поддержке

Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации

Генеральный медиа-партнер:

Журнал «Нефтегазовая Вертикаль»

Генеральный интернет-партнер:

Neftegaz.RU

Цели выставки:

- Демонстрация достижений и перспектив нефтегазовой отрасли региона в целом;
- Содействие расширению международного научно-технического сотрудничества и долгосрочных коммерческих отношений;
- Демонстрация новейших достижений компаний, а также науки и содействие внедрения их в производство

Контактная информация:

Тел.: (343)381-00-25, (351)755-55-10 (доб. 108, 109-участие; 110 - программа)

E-mail: info@uoge.ru

http://www.uoge.ru