

3. Урусов К.Х., Федотов Н.А., Астафьева В.И. Исследование зависимости электропроводности ионитовых мембран МК – 40 и МА – 40 от температуры. – В кн.: Ионообменные мембраны в электро-диализе. – Л.: Химия, 1970. – 287 с.

## **ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ СИСТЕМА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРИТОЧНОГО ВОЗДУХА В КАРТОФЕЛЕХРАНИЛИЩАХ С РАСПОЛОЖЕНИЕМ ПРОДУКЦИИ В КОНТЕЙНЕРАХ**

Дячек П.И., д.т.н., профессор, Захаревич А.Э., к.т.н., доцент  
*УО «Белорусский национальный технический университет»,  
г. Минск, РБ*

Энергоэффективность – эффективное использование энергии, или «пятый вид топлива». Применительно к картофелехранилищам с расположением продукции в контейнерах – это достижение требуемого эффекта охлаждения штабеля с меньшими затратами энергии на привод вентиляторов. Достижение поставленной цели возможно путем интенсификация процессов переноса теплоты на основе совершенствования системы распределения приточного воздуха. Обзор литературы показал, что в настоящее время в мировой практике применяется около 10 способов раздачи приточного воздуха в хранилищах рассматриваемого типа. Отметим, что штабель, как правило, составляется из контейнеров и имеет размеры  $(4...6) \times (10...12) \times 5(h)$  рядов контейнеров. Наиболее часто применяются контейнеры с размерами  $\approx 1000 \times 1000 \times 1200(h)$  мм. Применяемые контейнеры относятся к планчатой таре с воздухопроницаемыми днищем и боковыми стенками.

Исследование влияния различных способов раздачи приточного воздуха на параметры охлаждения штабеля было проведено на физической модели хранилища. Разработанная физико-математическая модель тепловых и аэродинамических процессов позволила определить масштабы подобия изучаемых процессов в модели и в натурных сооружениях. На основании их численного значения и была изготовлена модель камеры хранилища соответствующая натурным размерам  $12 \times 12$  м. Методика расчета масштабов подобия представлена в [1].

На рис. 1 представлена конфигурация двух из исследованных систем распределения воздуха. На рис. 1а представлен план П-образного штабеля, составленного из двух штабелей  $4 \times 10 \times 5 = 200$  контейнеров путем установки между ними вертикальной перемычки высотой 5 рядов контейнеров (выделена затемнением). Приточный воздух раздается в тупиковый канал воздухоораспределителем равномерной раздачи высотой, равной 4 рядам контейнеров. На рис. 1б представлен разрез штабеля (200 контейнеров) с раздачей воздуха в верхней зоне веерными струями. Обозначения на рисунках: «П» – приточный воздух, буквой «В» обозначено расположение приемников удаляемого воздуха. В обоих случаях они расположены в верхней зоне секции.

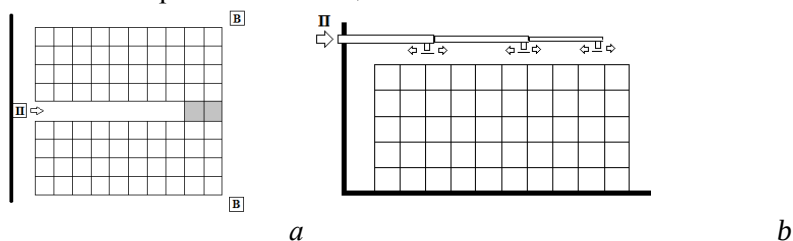


Рис. 1. Схемы распределения приточного воздуха в хранилище с расположением картофеля в контейнерах.

Ввиду неизбежного наличия щелей между отдельными контейнерами, по данным Балыковой Л.И., только 3...15 % из объема приточного воздуха фильтруются через слой продукции в контейнерах. Таким образом, системы вентиляции хранилищ с расположением продукции в контейнерах могут быть отнесены к общеобменным. При применении специальных дорогостоящих контейнеров можно реализовать и систему активной вентиляции с фильтрацией почти 100 % приточного воздуха через слой хранимой продукции. Такие контейнеры применяются, например, в Голландии для хранения элитного семенного картофеля.

На рис. 2 представлены результаты исследования процесса охлаждения штабелей для представленных на рис. 1 способов раздачи воздуха. Прочие параметры были одинаковыми для обоих исследуемых вариантов распределения приточного воздуха. Удельная подача воздуха в рассматриваемых вариантах принята  $60 \text{ м}^3/(\text{ч} \times \text{т})$ . Здесь и далее в статье представлены параметры для натурального объекта.

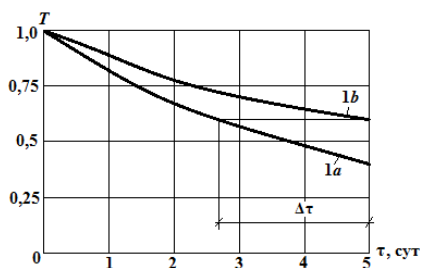


Рис. 2. Результаты исследования средней температуры штабеля по измерению температуры в центре контейнеров.

Средняя температура центров контейнеров  $T$  по результатам измерений для каждого момента времени рассчитывалась по выражению

$$T = \frac{1}{V(t_n - t_{np})} \sum_{i=1}^n (t_i - t_{np}) \Delta V_i.$$

В этом выражении:  $V$  — объем штабеля;  $\Delta V_i$  — объем отдельного контейнера;  $t_i$  — температура в центре  $i$ -го контейнера;  $t_n$  — начальная температура штабеля,  $t_n(x, y, z, 0) = \text{const}$ ;  $t_{np}$  — температура приточного воздуха,  $t_{np}(\tau) = \text{const}$ ;  $n$  — число контейнеров в исследуемом штабеле.

Исследования показали, что в процессе охлаждения плоскости постоянной температуры в П-образном штабеле имеют почти вертикальное положение и фронт охлаждения перемещается в горизонтальном направлении от тупикового канала к внешним плоскостям штабеля. При раздаче воздуха веерными струями в верхней зоне интенсивно охлаждается верхний ряд контейнеров. Нижние ряды охлаждаются преимущественно за счет гравитационной (естественной) конвекции, побудителем которой являются более тяжелые слои воздуха верхней зоны.

Эффективность использования охлаждающей способности воздуха в начальный момент работы системы вентиляции ( $t_n(x, y, z, \tau \approx 0)$ ) оценивалась по зависимости

$$E = \frac{t_b - t_{np}}{t_n - t_{np}} 100$$

В этом выражении:  $t_b$  — температура удаляемого воздуха.

Для схемы по рис. 1а измеренный в различных сериях опытов коэффициент  $E = 81 \dots 100$ , для схемы по рис. 1б  $E = 71 \dots 76$  ( $\tau = 5 \dots 10$  минут).

Представленные выше результаты исследований показали, что система раздачи воздуха в тупиковый канал П-образного штабеля позволяет более эффективно использовать охлаждающую способность приточного воздуха. Например, одинаковый эффект охлаждения ( $T = 0,6$ ) достигается почти в два раза быстрее, чем при применении раздачи воздуха в верхней зоне веерными струями.

Отметим, что применяемые в настоящее время в охлаждаемых хранилищах воздухоохладители формируют над штабелем прямоточные струи, эффективность охлаждающей способности воздуха для таких систем близка с показателями системы по рис. 1б.

Таким образом, при повышении темпа охлаждения штабеля сокращается продолжительность включения системы вентиляции (кондиционирования воздуха), приводящая, кроме повышения сохранности картофеля, и к сокращению потребления электроэнергии.

Для обоснования этого факта приведем выдержку из ГОСТ 10616 (п. 2.6), устанавливающую, что потребление электроэнергии вентилятором может быть рассчитано по выражению

$$N_{\Sigma} = \frac{PL}{1000\eta} \tau.$$

В этом выражении:  $N_{\Sigma}$  – расход электроэнергии, кВт·ч;  $P$  – давление, развиваемое вентилятором, Па;  $L$  – производительность вентилятора, м<sup>3</sup>/с;  $\eta$  – КПД вентилятора;  $\tau$  – продолжительность работы вентилятора, ч.

Добавим, что этот же нормативный документ устанавливает, что действительный (эксплуатационный) полный КПД вентиляторов должен соответствовать условию  $\eta_d \geq 0,9\eta_{max}$  (п. 2.15). Здесь  $\eta_{max}$  – максимальный полный КПД вентилятора. А в соответствии с требованиями ГОСТ 5976 (п. 2.1.4) максимальный полный КПД применяемого вентилятора должен быть не меньше значений, приводимых в цитируемой таблице

|                              |             |      |      |      |             |
|------------------------------|-------------|------|------|------|-------------|
| Коэффициент давления, $\psi$ | 1,6 и более | 1,4  | 1,2  | 1,0  | 0,8 и более |
| $\eta_{max}$                 | 0,65        | 0,68 | 0,72 | 0,78 | 0,8         |

Коэффициент давления  $\psi$  при отсутствии информации в технической документации на применяемый вентилятор может быть легко рассчитан по зависимости

$$\psi = \frac{P_{max}}{\rho} \left( \frac{\pi n}{30} R_2 \right)^{-2}.$$

В этом выражении:  $P_{\max}$  – давление вентилятора, развиваемое при работе на режиме  $\eta_{\max}$ , Па;  $n$  – число оборотов рабочего колеса, об/м;  $\rho$  – плотность перемещаемого воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $R_2$  – радиус рабочего колеса, измеренный по выходным кромкам лопаток. Отметим, что  $R_2 = N_2/(2 \times 10)$ . Здесь  $N_2$  – номер вентилятора.

Как правило, в системах вентиляции картофелехранилищ применяются вентиляторы низкого давления, имеющие коэффициент давления не выше 1, следовательно, полный максимальный КПД вентиляторов, применяемых в рассматриваемой отрасли, не должен быть меньше 0,78.

Приведенные факты устанавливают требования органов государственного надзора по эффективному расходу электрической энергии, затрачиваемой на привод вентиляторов, суть которых сводится к тому, что применяемый вентилятор должен эксплуатироваться только в зоне  $\eta_d \geq 0,9\eta_{\max}$ , а его полный максимальный КПД должен удовлетворять требованиям, содержащихся в приводимой выше таблице.

Вывод: применение эффективных способов раздачи приточного воздуха в овощекартофелехранилищах с расположением продукции в контейнерах позволяет существенно снизить расход электроэнергии на привод вентиляторов приточных систем.

#### Литература

1. Дячек П.И. Научно-технические основы управления температурно-влажностным режимом хранения картофеля и овощей : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.13.07; 05.14.05 / П.И. Дячек ; БГАТУ. – Минск, 1997. – 35 с.
2. Дячек, П.И. Повышение эффективности воздушных систем охлаждения хранилищ / П.И. Дячек, В.П. Николаенко, Ю.В. Крейдик // Холодильная техника. – 1990. – № 4. – С. 2–7.

### **КОНТРОЛЬ ВЛАЖНОСТИ МАТЕРИАЛОВ ПЕРЕМЕННОЙ ПЛОТНОСТИ КОМБИНИРОВАННЫМИ МЕТОДАМИ**

Лисовский В.В., к.т.н., доцент, Булко М.И., старший преподаватель,  
УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»;  
Воробьев С.И., инженер  
УО «Белорусский национальный технический университет»,