

Особенности выбора оборудования для системы холоснабжения камеры дозаривания бананов

Д-р техн. наук А.Я. ЭГЛИТ, Д.А. БОБИН
Санкт-Петербургский государственный университет
низкотемпературных и пищевых технологий

Bananas, collected and transferred to Russia in green state, before sales are subjected to artificial ripening in special rooms, where temperature must be lowered each day by 1...2 °C (from 18 to 14 °C). The article deals with the calculation of heat gains during ripening of bananas. The procedure and order of calculation of heat gains from air humidifiers in the room, not covered by GOST requirements, but constituting the important value is presented. It is shown, that the total heat load of refrigerating equipment during ripening of bananas varies in time and has the maximum on the second and third day of the process. The existing techniques implying maximum loads lead to the use of too powerful equipment.

Объемы импорта бананов в Россию за последние годы резко возросли, что связано в первую очередь с доступными ценами на эти фрукты, их большой пищевой ценностью и популярностью.

Специфика бананов в том, что их собирают и транспортируют зелеными. Перед продажей их подвергают искусственному созреванию (дозариванию). Причем бананы дозаривают во всем мире, в том числе и в местах их произрастания, что обусловлено тем, что при естественном созревании (дозревании) невозможно достичь его равномерности.

Для дозаривания бананов уже созданы три поколения камер, различающихся по способу организации движения воздуха относительно коробок с бананами. Камеры первого поколения технически просты – это обычные герметичные климатические камеры, на торцевой стене которых монтируют один или несколько воздухоохладителей с мощными вентиляторами. Процесс дозаривания автоматизирован.

В автоматизированных камерах дозаривания второго и третьего поколений реализован принцип создания разности давлений с разных сторон укладки с бананами, так что воздух, проходя через отверстия в коробках, охлаждает или нагревает их, способствуя равномерности дозревания.

Охлаждение бананов и расчет теплопритоков необходимо осуществлять в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51603 – 2000 «Бананы свежие. Технические условия».

Каждые сутки температура мякоти должна понижаться на 1...2° С с 18 до 14° С. Соблюдение этого требования осложнено следующими обстоятельствами:

- поток воздуха через коробку бананов неравномерен по объему;
- в контакте с воздухом находится лишь часть поверхности банана (так как бананы собраны в гроздья);
- мякоть банана имеет теплоизоляцию в виде кожуры;
- подохлаждение воздуха в воздухоохладителе соизмеримо с величиной ступеньки понижения уставки датчика температуры.

Очевидно, что расчет теплопритока от бананов в таких условиях дает спорный результат. Например, для стандартной камеры дозаривания вместимостью 22 т значение теплопритока, полученное по существующей методике, составляет 9 кВт, а вычисленное с учетом текущих суток дозаривания – 13,5 до 5,3 кВт (рис. 1).

Теплоприток от бананов изменяется в течение периода дозаривания не только в связи с понижением температуры бананов, но и в силу разной интенсивности их дыхания при переходе от «зеленой» (0,204 Вт/кг) стадии к «желтой» (0,146 Вт/кг). Предлагается учитывать эту несложную зависимость, исходя из предположения, что созревание идет равномерно в течение всего процесса дозаривания, а степень зрелости изменяется скачкообразно в конце суток. К примеру, при быстром дозаривании (продолжительностью 4 сут) расчетный удельный теплоприток от дыхания за первые сутки будет равен

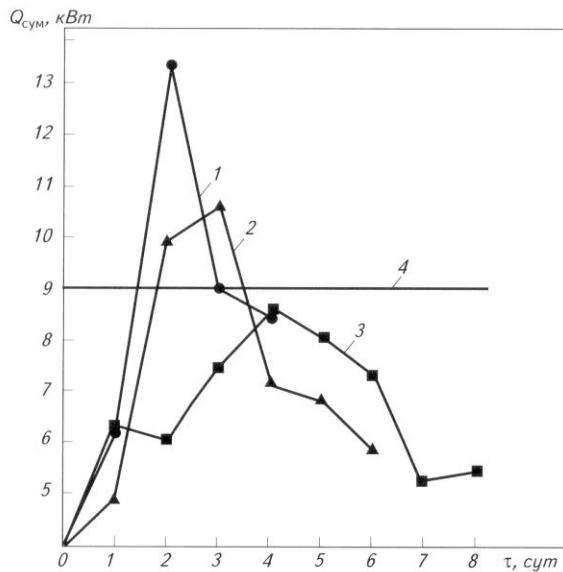


Рис. 1. Теплоприток от продукта:
1 – быстрое дозаривание; 2 – нормальное дозаривание;
3 – медленное дозаривание; 4 – существующая методика

$$q = (1 \cdot 0,204 + 3 \cdot 0,146)/4 = 0,16 \text{ Вт}/\text{кг}.$$

В различных источниках интенсивность дыхания бананов оценивается с заметным разбросом без указания на сорт и условия выращивания и хранения (0,0624...0,4 Вт/кг).

Теплота респирации определена в [2] экспериментальным путем. Графики изменения ее в зависимости от режима дозаривания получены для конкретного сорта бананов и для других сортов должны заметно отличаться. Для стандартной камеры дозаривания теплоприток от

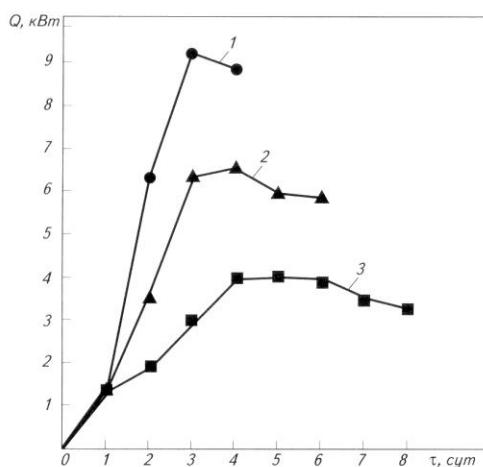


Рис. 2. Теплоприток от респирации бананов:
1 – быстрое дозаривание; 2 – нормальное дозаривание;
3 – медленное дозаривание

респирации колеблется в диапазоне 9,5...3,5 кВт за период дозаривания в зависимости от режима (рис. 2).

Динамика теплопритока от увлажнителей воздуха определяется требованиями ГОСТ Р 51603 – 2000. Методика расчета этого теплопритока отсутствует в «Рекомендациях по проектированию холодильных установок». Предлагается следующая последовательность расчета, которая строится на уравнении массопереноса на поверхности воздухоохладителя.

Пример расчета.

1. Рассчитываем площадь поверхности охлаждающих приборов (m^2) без учета увлажнения:

$$F'_0 = Q'_0/(k_0 \Delta t),$$

где Q'_0 – сумма теплопритоков без учета увлажнения, Вт;

k_0 – коэффициент теплопередачи воздухоохладителя, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, $k_0 = 15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

Δt – разность температур воздуха и кипения хладагента, $^{\circ}\text{C}$, $\Delta t = 5 ^{\circ}\text{C}$.

2. Определяем давление насыщенного водяного пара (Па) над поверхностью охлаждающих приборов при температуре поверхности t_0 :

$$p''_0 = a + bt_0,$$

где a, b – коэффициенты, полученные опытным путем,

$$a = 600 \text{ Па}, b = 40 \text{ Па}/\text{К};$$

t_0 – температура кипения хладагента, $^{\circ}\text{C}$.

3. Находим парциальное давление водяного пара в воздухе охлаждаемого помещения вдали от продукта:

$$p''_{\text{ном}} = a + bt_{\text{ном}},$$

где $t_{\text{ном}}$ – температура помещения, значение которой на $5 ^{\circ}\text{C}$ больше t_0 .

4. Высчитываем относительную влажность воздуха при отсутствии в помещении влагопритока:

$$\Phi_0 = p''_0/p''_{\text{ном}}.$$

5. Определяем комплекс M :

$$M = 1 + b/A,$$

где A – психрометрический коэффициент, зависящий от скорости движения воздуха в камере, $A = 73,5$.

6. Находим площадь поверхности продукта $F_{\text{пп}}$ (m^2):

$$F_{\text{пп}} = Mn,$$

где n – коэффициент, учитывающий площадь поверхности банана в одной коробке, $\text{м}^2/\text{кг}$, $n = 0,0684 \text{ м}^2/\text{кг}$.

7. Рассчитываем $f(F)$ – отношение, включающее в себя площади поверхности бананов в камере и площади поверхности охлаждающих приборов:

$$f(F)' = \beta_{\text{пп}} F_{\text{пп}} / \beta_0 (F_0)',$$

где $\beta_{\text{пп}}$ – коэффициент испарения влаги с поверхности продукта, кг/(м²·с·Па), $\beta_{\text{пп}} = 70 \cdot 10^{-10}$ кг/(м²·с·Па);
 β_0 – коэффициент конденсации водяного пара на поверхности охлаждающих приборов, кг/(м²·с·Па),
 $\beta_0 = 300$ кг/(м²·с·Па).

8. Определяем равновесную относительную влажность воздуха:

$$\varphi_{\text{ном}} = [f(F) + \varphi_0 M] / [f(F) + M];$$

9. Находим расход влаги (кг/с):

$$W_0 = \beta_0 (F_0)' (\varphi_{\text{ном}} p''_{\text{ном}} - p''_0).$$

10. Рассчитываем теплоприток от увлажнения:

$$Q_{\text{вл}} = W_0 r,$$

где r – удельная теплота конденсации, $r = 2500$ Дж/кг.

11. Рассчитываем теплоприток с учетом увлажнения:

$$Q_0 = Q' + Q_{\text{вл}},$$

12. Находим площадь теплообменной поверхности:

$$F_0 = Q_0 / (k_0 \Delta t).$$

13. Рассчитываем разность $\Delta F_0 = F_0 - F'_0$:

если $(\Delta F_0 / F_0) \cdot 100 \% \leq 10 \%$, то расчет считается верным;

если $(\Delta F_0 / F_0) \cdot 100 \% \geq 10 \%$, то необходимо выполнить расчет еще раз, используя F_0 вместо F'_0 .

В уравнение массопереноса входят искомые величины для расчета тепловой нагрузки – требуемая поверхность воздухоохладителя F_0 и температура кипения хладагента (через p''_0). От сочетания этих величин заметно зависит значение теплопритока от увлажнения. Кроме того, необходимо использовать такие величины, как интенсивность испарения влаги с поверхности продукта $\beta_{\text{пп}}$ и площадь его поверхности $F_{\text{пп}}$, которые изменяются в широком диапазоне в зависимости от величины отдельного банана и формы его объединения в гроздь. Результаты измерений позволяют утверждать, что в стандартной коробке бананов размерами 500×400×250 мм, массой примерно 19 кг площадь поверхности контакта бананов с воздухом составляет 1,3...1,6 м².

По существующей методике оценки суммарной тепловой нагрузки теплоприток от увлажнения воздуха не учитывается, но он может составлять 2,5...3 кВт для стандарт-

ной камеры дозаривания бананов емкостью 22 т габаритами 17 × 3,5 × 5,5 м.

Теплоприток от электродвигателей вентиляторов воздухоохладителей зависит не только от специфичного подогрева воздуха (1...2 °C), но и от технологической системы камеры. В камерах третьего поколения воздух проходит последовательно через две коробки бананов, в то время как регламентирующая кратность циркуляции воздуха указана для одной коробки. Это приводит к различию в объемной подаче воздухоохладителя и требуемом напоре и позволяет оценить теплоприток в диапазоне 1...2 кВт.

Теплопритоки через ограждения малы (примерно 1 кВт для стандартной камеры), а теплопритоки от людей, освещения и открывания дверей отсутствуют.

Суммарные тепловые нагрузки камеры дозаривания быстрого и нормального режима дозаривания приведены в таблице.

Максимумы суммарной тепловой нагрузки приходятся на второй день работы холодильного оборудования за цикл дозаривания для быстрого и на третий день для нормального режима. В эти дни температура мякоти банана составляет 18 °C для быстрого и 16 °C для нормального режима.

В соответствии с действующей методикой подбора холодильного оборудования он ведется, исходя из температуры воздуха 14 °C и суммарной нагрузки, полученной сложением максимумов каждой составляющей этой суммы, что приводит к завышению стоимости поставляемого оборудования.

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы. При подборе оборудования системы холоснабжения камеры дозаривания бананов следует:

✓ учитывать динамику отдельных теплопритоков и их суммы;

✓вести подбор оборудования по реальному соотношению во времени максимума суммы теплопритоков и температуры воздуха камеры в этот день.

Список литературы

- ГОСТ Р 51603 – 2000 Бананы свежие. Технические условия.
- Цуренов О.А., Крысин А.Г. Холодильная техника и технология / Под ред. проф. В.А. Гуляева – СПб.: Лидер, 2004.

Режим дозаривания	Суммарный теплоприток, кВт, при времени дозаривания, сут					
	1	2	3	4	5	6
Быстрый	15,1	22	16,9	14,4	–	–
Нормальный	11,2	16	16,6	11,6	9	9,8