

УДК 53.536.715

**РАСЧЕТ ПРОЦЕССА ВЫПЕЧКИ ХЛЕБА. ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС
ТУННЕЛЬНОЙ ПЕЧИ**

Дмитрий Сергеевич Грицутин

*Магистр 2 года,
кафедра «Автоматизация технологических процессов и производств»
Севастопольский государственный университет**Научный руководитель: А.Н. Круговой,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Приборные системы и автоматизация
технологических процессов»*

Туннельные печи предназначены для выпечки хлебобулочных изделий в поточном режиме, широко используются крупными предприятиями для изготовления различных видов хлеба и иных хлебобулочных изделий. Все туннельные печи обеспечивают высокую степень безопасности, так как процесс контролируется программным управлением, участие человека сводится к минимуму, что к тому же экономит производственные затраты.

Так как существует несколько видов хлебопекарных печей, целесообразность их использования определяется видом выпускаемой продукции, а также количеством данной продукции.

Основными их параметрами являются: скорость и качество выпускаемой продукции, затраты на непосредственное использование печей, затраты на их обслуживание

Для массового выпуска хлеба наиболее рационально использование туннельных печей, так как они способны обеспечить наибольший выпуск продукции. В тоже время они являются и наиболее затратными по использованию и обслуживанию, а также занимают значительно большую производственную площадь.

Целью расчета теплового баланса является определение расхода топлива. Расчет проводим для зон подогрева и охлаждения.

Расчет проводим для зон подогрева и для зон охлаждения.

Приходные статьи теплового баланса

Энергия изделий после расстойки:

$$Q_1 = \frac{P_{\text{час}} \cdot m_{\text{хр}} \cdot c_{\text{хр}} \cdot t_{\text{раст}}}{3600},$$

где $P_{\text{час}}$ – производительность по запеканию, шт/час; $m_{\text{хр}}$ – масса хлеба после расстойки, кг; $t_{\text{раст}}$ – температура хлеба после расстойки, $^{\circ}\text{C}$; $c_{\text{х}}$ – удельная теплоемкость хлеба, $\text{кДж/кг} \cdot ^{\circ}\text{C}$;

Энергия вносимая конвейером:

$$Q_2 = \frac{P_{\text{час}} \cdot m_{\text{к}} \cdot c_{\text{к}} \cdot (t_{\text{к}} - t_{0\text{к}})}{G_{\text{к}} \cdot 3600},$$

где $G_{\text{к}}$ – количество хлеба в одной линии на конвейере, шт; $m_{\text{к}}$ – масса одного участка конвейера с хлебом, кг; $c_{\text{к}}$ – удельная теплоемкость одного участка конвейера с хлебом, $\text{кДж/кг} \cdot ^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{к}}$ – средняя температура одного участка конвейера с хлебом, $^{\circ}\text{C}$; $t_{0\text{к}}$ – начальная температура одного участка конвейера с хлебом, $^{\circ}\text{C}$;

Расходные статьи теплового баланса

Вынос энергии выходящими изделиями:

$$Q_3 = \frac{P_{\text{час}} \cdot m_x \cdot c_x \cdot t_k}{3600},$$

где m_x – масса готового изделия, кг; t_k – конечная температура хлеба, $^{\circ}\text{C}$; c_k – теплоемкость хлеба при t_k , кДж/кг $\cdot^{\circ}\text{C}$;

Вынос энергии конвейером:

$$Q_4 = \frac{P_{\text{час}} \cdot m_k \cdot c_k \cdot t_k}{G_k \cdot 3600},$$

где $t_{\text{конв}}$ – температура конвейера на выходе из печи, $^{\circ}\text{C}$;

Потери энергии через поверхность печи:

$$Q_{\text{пов}} = Q_{\text{ст}} + Q_{\text{св}} + Q_{\text{тун}},$$

где $Q_{\text{ст}}$ – потери энергии через стены, кВт; $Q_{\text{св}}$ – потери энергии через свод, кВт; $Q_{\text{тун}}$ – потери энергии через туннель, кВт.

Участок $240^{\circ}\text{C} - 185^{\circ}\text{C}$; Наружный и внешний слой – нержавеющая сталь; Внутренний слой – стекловата.

Потери энергии через стены:

$$Q_{\text{ст}} = \frac{T_{\text{ср}} - T_n}{2 \cdot \frac{R_m}{\lambda_m} + \frac{R_{\text{св}}}{\lambda_{\text{св}}} + \frac{1}{\alpha_n}} \cdot \sqrt{F_{\text{вн.ст}} \cdot F_{\text{нар.ст}}},$$

где $T_{\text{ср}}$ – средняя температура на участке, $^{\circ}\text{C}$; T_n – температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$; R_m – толщина металла, м; λ_m – коэффициент теплопроводности металла, Вт/м $\cdot^{\circ}\text{C}$ [4]; $R_{\text{св}}$ – толщина стекловаты, м; $\lambda_{\text{св}}$ – коэффициент теплопроводности стекловаты, Вт/м $\cdot^{\circ}\text{C}$; [5]; α_n – коэффициент теплоотдачи, Вт/м $^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$; [6] $F_{\text{вн.ст}}$ – внутренняя площадь стен, м 2 ; $F_{\text{нар.ст}}$ – наружная площадь поверхности стен, м 2 .

Стены печи – двухслойные, наружная площадь стен:

$$F_{\text{нар.ст}} = 2 \cdot h_{\text{нар.ст}} \cdot l_{\text{ст}},$$

где $h_{\text{нар.ст}}$ – высота наружной стены, м; $l_{\text{ст}}$ – длина стен, м.

Внутренняя площадь стен:

$$F_{\text{вн.ст}} = 2 \cdot h_{\text{вн.ст}} \cdot l_{\text{ст}},$$

где $h_{\text{вн.ст}}$ – высота внутренней стены, м.

Потери энергии через свод:

$$Q_{\text{св}} = \frac{T_{\text{ср}} - T_n}{2 \cdot \frac{R_m}{\lambda_m} + \frac{R_{\text{св}}}{\lambda_{\text{св}}} + \frac{1}{\alpha_n}} \cdot \sqrt{F_{\text{вн.св}} \cdot F_{\text{нар.св}}},$$

где $F_{\text{вн.св}}$ и $F_{\text{нар.св}}$ – соответственно внутренняя и наружная площадь свода, м 2 .

Внутренняя площадь свода:

$$F_{\text{вн.св}} = b_{\text{вн.св}} \cdot l_{\text{св}},$$

где $b_{\text{вн.св}}$ – ширина внутреннего свода, м; $l_{\text{св}}$ – длина свода, м.

Наружная площадь свода:

$$F_{\text{нар.св}} = b_{\text{нар.св}} \cdot l_{\text{св}},$$

где $b_{\text{нар.св}}$ – ширина наружного свода, м.

Потери энергии через туннель:

$$Q_{\text{тун}} = \frac{T_{\text{ср}} - T_n}{2 \cdot \frac{1}{\alpha_n}} \cdot \sqrt{F_{\text{тун}}},$$

где $F_{\text{тун}}$ – площадь отверстий, м 2 .

Площадь входа/выхода туннеля равна:

$$F_{\text{тун}} = h_{\text{тун}} \cdot b_{\text{тун}},$$

где $h_{\text{тун}}$ – высота туннеля, м;

$b_{\text{тун}}$ – ширина туннеля, м.

Энергия, приходящая с воздушными массами с горелки:

$$Q_{\text{возд}} = Q_3 + Q_4 + Q_{\text{нов}} - Q_1 - Q_2$$

Найдем расход воздуха на теплообмен по формуле:

$$V_{\text{возд}} = \frac{Q_{\text{возд}}}{c_{\text{вм}} \cdot T_{\text{м}} + c_{\text{вн}} \cdot T_{\text{н}}},$$

где $c_{\text{вм}}$ и $c_{\text{вн}}$ – теплоемкости воздуха, кДж/кг·°С, при максимальной $T_{\text{м}}$ и начальной $T_{\text{н}}$ температуре, °С [6].

Найдём тепло горения топлива:

$$Q_{\text{возд}} = Q_{\text{топл}}^{\text{н}} \cdot V_{\text{топл}},$$

где $Q_{\text{топл}}^{\text{н}}$ – теплотворная способность топлива; $V_{\text{топл}}$ – расход топлива, м³/с.

Тепловой баланс сведён в таблицу 1.

Таблица 1. Тепловой баланс туннельной печи

Индекс статьи	Статьи теплового баланса	Количество тепла, кВт
Приход тепла		
1	Тепло изделий после расстойки	3,5
2	Тепло вносимое конвейером	41,5
Возд	Тепло приходящее с воздушными массами с горелки	52,5
Расход тепла		
3	Вынос тепла выходящими изделиями	18,9
4	Вынос тепла конвейером	69,1
Пов	Потери тепла через поверхность печи	9,49

Для нахождения расхода топлива приравняем расходные статьи баланса и тепло горения топлива, откуда выразим расход топлива:

$$V_{\text{топл}} = \frac{Q_{\text{вых}}}{Q_{\text{топл}}^{\text{н}}}$$

Таким образом, выполненный расчёт теплового баланса позволяет находить расход топлива на горения, при котором достигается равновесное состояние.

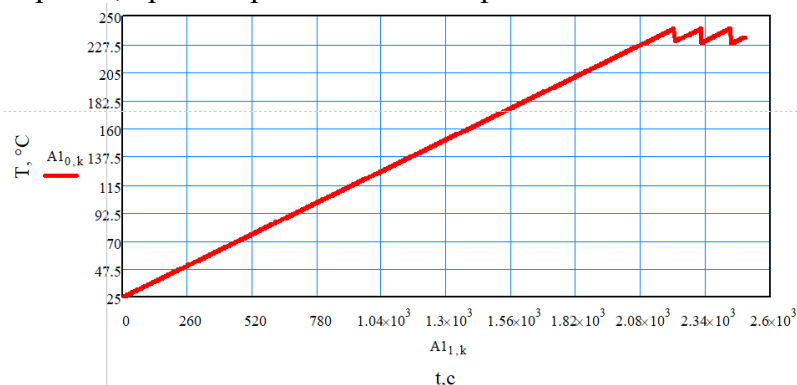


Рис.1 Модель процесса нагрева

Литература

1. *Левченко П.В.* Расчет печей и сушил силикатной промышленности. - М., Высшая школа, 1968
2. *Д.В. Гинзбург* и др. Печи и сушила силикатной промышленности. - М., Промстройиздат, 1963
3. Тепловые расчеты печей и сушилок силикатной промышленности. Баренбойм А.М., Галиева Т.М. и др. - М., Стройиздат, 1964
4. <https://tehtab.ru/Guide/GuidePhysics/GuidePhysicsHeatAndTemperature/>
5. <https://kotel.guru/uteplenie/utepliteli/tablica-teploprovodnosti-i-drugih-kachestv-materialov-dlya-utepleniya.html>
6. <https://chem21.info/page/080081252189023143148060041124066143105000175193/>