

## Water Boilers of TVG Type Modernization

*Laurentsov E.M.<sup>1</sup>, Sigal I.J.<sup>1</sup>,  
Smikhula A.V.<sup>1</sup>, Berezanskiy V.V.<sup>2</sup>, Ovchar V.V.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> The Gas Institute of NASU, Kiev

<sup>2</sup> Stock Company «Gilteploenergo Kyivenergo», Kiev

Water boilers of TVG type service period is limited by convective heating surface of small diameter pipes (28 × 3 mm) failing and burners exchange necessity. The projects of the boilers modernization for efficiency increase and service period extension by convective heating surface manufacture of more than 28 mm diameters pipes and new slot burners MPIG-3 application are developed.

**Key words:** municipal heat power engineering, water boilers of TVG type, MPIG-3 slot burner, modernization.

Received April 2, 2010

УДК 678.027.3–036.5

## Моделирование процесса охлаждения двухслойных гофрированных полимерных труб

*Вознюк В.Т., Карвацкий А.Я., Микулёнок И.О.*

*Национальный технический университет Украины «КПИ», Киев*

Разработаны физическая и математическая модели процесса охлаждения двухслойных гофрированных полимерных труб при их производстве экструзией. Модели описывают процессы при одно- и двустороннем охлаждении труб.

**Ключевые слова:** двухслойная гофрированная полимерная труба, физическая и математическая модели, охлаждение.

Розроблено фізичну та математичну моделі процесу охолодження двошарових гофрованих полімерних труб під час їх виготовлення співекструзією. Моделі описують процеси при одно- та двосторонньому охолодженні.

**Ключові слова:** двошарова гофрована полімерна труба, фізична та математична моделі, охолодження.

Гофрированные полимерные трубы получили широкое применение для кабельных коммуникаций и безнапорных жидкостных систем. Наибольшее распространения в последнее время получают двухслойные полимерные трубы с внешним гофрированным слоем и с гладким внутренним. Такая конструкция стенки трубы обеспечивает значительную кольцевую жесткость при относительно небольшой материалоемкости, а гладкая внутренняя поверхность — удовлетворительные гидравлические условия движения жидкости [1].

После формирования двухслойной гофрированной трубы в ее стенке аккумулируется значительное количество теплоты, отведение которой усложняется из-за низкой теплопроводности

полимера и воздуха, содержащегося в гофрах. Особую проблему представляет отведение теплоты с внутренней поверхности гладкого слоя трубы.

Проектирование гофраторов и определение длины зоны охлаждения выполняется производителями соответствующего оборудования, базируясь на практическом опыте. Однако при использовании новых материалов и изготовлении труб с новой конструкцией стенки предыдущий опыт может быть неприемлемым, а разработка нового требует значительных затрат энергии, материальных и человеческих ресурсов. В этой связи возникает необходимость в разработке физической и математической моделей процесса охлаждения двухслойных гофри-

рованных полимерных труб, которые позволяют проектировать оборудование с рациональными параметрами.

Двухслойные гофрированные трубы изготавливаются соэкструзией (рис.1). Форма внешней поверхности трубы придается вакуумом в гофраторе, где также происходит охлаждение трубы до температуры, при которой она гарантированно не теряет форму во время последующей обработки и эксплуатации. После выхода трубы из гофратора она некоторое время движется на воздухе. Дальнейшее охлаждение трубы происходит в ваннах с водным орошением, количество которых зависит от типоразмера трубы и производительности линии [2].

Процесс охлаждения в гофраторе и ваннах охлаждения описывается уравнением нестационарной теплопроводности:

$$\rho_i(T)c_i(T)\left(\frac{\partial T}{\partial \tau}\right) = \nabla[\lambda_i(T)\nabla T], \quad (1)$$

где  $\rho_i$ ,  $c_i$ ,  $\lambda_i$  — плотность, массовая теплоемкость и теплопроводность материала  $i$ -го слоя трубы ( $i = 1, N$ ),  $N$  — количество слоев;  $T$  — температура;  $\tau$  — время.

Поскольку во время охлаждения трубы ее температура изменяется в широких пределах, то необходимо учесть зависимость теплофизических свойств материалов от температуры. Во время численного моделирования процесс целесообразно рассматривать в цилиндрической системе координат (рис.2).

Для дальнейшего рассмотрения процесса охлаждения делаем такие допущения: 1) процесс охлаждения осесимметричный, следовательно, не зависит от угловой координаты; 2) в месте контакта соседних двух слоев реализованы граничные условия четвертого рода; 3) конвективным переносом теплоты в воздухе, содержащемся в гофрах трубы, пренебрегаем; 4) перенос теплоты в каждом слое материала трубы

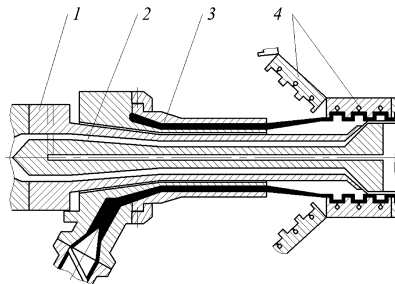


Рис.1. Схема формирования двухслойных гофрированных полимерных труб: 1 — соэкструзионная головка; 2, 3 — расплав полимера для внутреннего и внешнего слоев стенки трубы; 4 — полуформа гофратора.

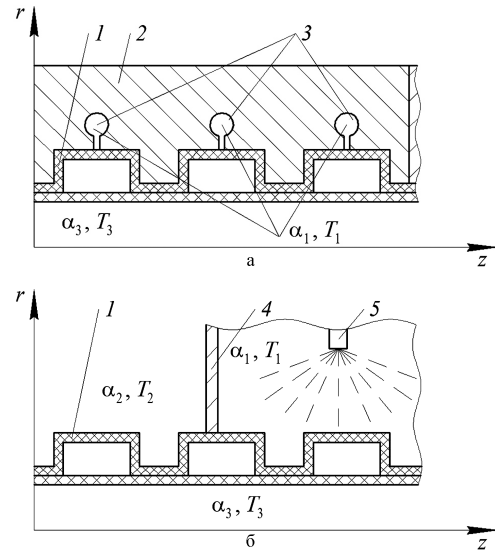


Рис.2. Схема охлаждения двухслойных гофрированных полимерных труб в гофраторе (а) и в ванне охлаждения (б): 1 — труба; 2 — полуформа гофратора; 3 — каналы охлаждающей воды; 4 — ванна охлаждения; 5 — форсунка.

и в воздухе, содержащемся в гофрах трубы, осуществляется теплопроводностью.

Из-за значительного изменения теплофизических свойств полимера при его затвердевании уравнение (1) целесообразно записать в энтальпийной форме. С учетом сделанных допущений оно принимает такой вид:

$$\frac{\partial H}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[ r \lambda_i(T) \frac{\partial T}{\partial r} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \lambda_i(T) \frac{\partial T}{\partial z} \right], \quad (2)$$

$$i = \overline{1, N}, \tau > 0,$$

где  $r$ ,  $z$  — текущий радиус и толщина стенки трубы;  $H$  — энтальпия:

$$H = \int_0^T c_i(T) \rho_i(T) dT, \quad i = \overline{1, N}.$$

Начальное условие при  $\tau = 0$ :

$$T(r, z)|_{\tau=0} = T_0, \quad (3)$$

где  $T_0$  — начальная температура.

Граничные условия при  $\tau > 0$ :

а) на границе контакта между слоями стенки трубы, а также между внешней поверхностью трубы и гофратором

$$\begin{cases} \{T\} = 0; \\ \{\mathbf{n} \cdot \mathbf{q}\} = 0, \end{cases} \quad (4)$$

где  $\mathbf{n}$  — внешняя нормаль к поверхности материала;  $\{T\} = T^+ - T^-$ ;  $\{\mathbf{n} \cdot \mathbf{q}\} = \mathbf{n}^+ \cdot \mathbf{q}^+ - \mathbf{n}^- \cdot \mathbf{q}^-$ ;  $\mathbf{q}$  — плот-

ность теплового потока,  $\mathbf{q} = -\lambda_i(T)\nabla T$ ,  $i = \overline{1, N}$ ;  $\nabla$  — оператор Гамильтона в цилиндрической системе координат,  $\nabla = \left( \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r}, \frac{\partial}{\partial z} \right)$ ;

б) на границе контакта стенки с охлаждающей средой

$$\mathbf{n} \cdot (-\lambda_i(T)\nabla T) = \alpha_k(T)(T - T_k), \quad (5)$$

$$i = \overline{1, N}, \quad k = \overline{1, M},$$

где  $\alpha_k$  — коэффициент теплоотдачи;  $T_k$  — температура охлаждающей среды;  $k$  — индекс номера охлаждающей среды (1 — вода, 2 — воздух на внешней поверхности трубы, 3 — воздух на внутренней поверхности трубы (см. рис.2));  $M$  — количество охлаждающих сред.

Уравнения (2)–(5) являются математической моделью процесса охлаждения двухслойных полимерных труб.

Предварительный анализ показал, что при проектировании технологических линий для производства двухслойных гофрированных полимерных труб целесообразно применять двух-

стороннее охлаждение, преимущество которого доказано при охлаждении гладких полимерных труб [3].

### Выводы

Разработанная физическая модель качественно описывает охлаждение гофрированных труб на разных стадиях, а предложенная математическая модель позволяет теоретически исследовать процесс охлаждения при разных параметрах процесса производства труб.

### Список литературы

1. Третьяков А. Полимерные гофрированные трубы // Полимеры — деньги. — 2006. — № 1. — С. 6–10.
2. Масенко Л.Я. Гофрированные трубы из пластмасс. — М. : Химия, 1989. — 88 с.
3. Вознюк В.Т., Мікульонюк І.О. Експериментальне дослідження двостороннього охолодження полімерної труби // Хім. інженерія, екологія та ресурсозбереження. Вісн. Нац. техн. ун-та Укр. «КПІ». — 2010. — № 1. — С. 4–7.

Поступила в редакцию 01.09.10

## The Simulation of Double-Layer Corrugated Polymeric Pipes Refrigeration

*Vozniuk V.T., Karvatskii A.Ya., Mikulionok I.O.*

*National Technical University of Ukraine «KPI», Kiev*

Physical and mathematical models of double-layer corrugated polymeric pipes refrigeration process during pipes manufacture by extrusion are developed. The models simulate single- and double-sided pipes refrigeration processes.

**Key words:** double-layer corrugated polymeric pipe, physical and mathematical models, refrigeration.

Received September 1, 2010