

## Water Boilers of TVG and KVG Types 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 and KVG types 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 and KVG types, 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., Микуленок 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:** физическая и математическая модели, двухслойная гофрированная полимерная труба, охлаждение.

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

**Ключові слова:** полімер, двошарова гофрована труба, 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-

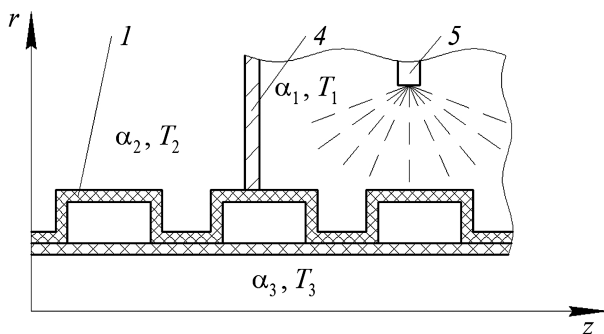


Рис.2. Схема охлаждения двухслойных гофрированных полимерных труб в гофраторе (а) и в ванне охлаждения (б): 1 – труба; 2 – полуформа гофратора; 3 – каналы охлаждающей воды; 4 – ванна охлаждения; 5 – форсунка.

рованных полимерных труб, которые позволят 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 ( $i = \overline{1, N}$ ),  $N$  – 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) пе-

ренос теплоты в каждом слое материала трубы 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  $r$ ,  $z$  – 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;  $\{T\} = T^+ - T^-$ ;  $\{\mathbf{n} \cdot \mathbf{q}\} = \mathbf{n}^+ \cdot \mathbf{q}^+ - \mathbf{n}^- \cdot \mathbf{q}^-$ ;  $\mathbf{q}$  – плотность 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

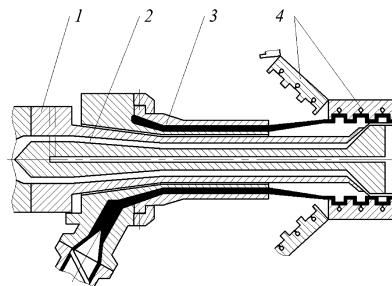


Рис.1. Схема формирования двухслойных гофрированных полимерных труб: 1 – соэкструзионная головка; 2, 3 – расплав полимера для внутреннего и внешнего слоев стенки трубы; 4 – полуформа гофратора.

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

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

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 двухстороннее 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., Микulyонюк І.О. Експериментальне дослідження двостороннього охолодження полімерної труби // Хімічна 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:** physical and mathematical models, double-layer corrugated polymeric pipe, refrigeration.

Received September 1, 2010