

УДК 621.311

DOI 10.25205/2541-9447-2018-13-2-16-22

Д. В. Кудашкин¹, В. В. Саломатов^{1,2}, А. В. Саломатов³

¹ Новосибирский государственный университет
ул. Пирогова, 2, Новосибирск, 630090, Россия

² Институт теплофизики им. С. С. Кутателадзе СО РАН
пр. Акад. Лаврентьева, 1, Новосибирск, 630090, Россия

³ ОАО «АК Транснефть»
ул. Б. Полянка, 5, Москва, 107996, Россия

kudashkindmitrii@yandex.ru, salomatov.vv@mail.ru, salomatov@ak.transneft.ru

УСТАНОВИВШИЙСЯ ТЕПЛОВЫЙ РЕЖИМ ПОТОКА ЖИДКОСТИ В КРУГЛОМ КАНАЛЕ В УСЛОВИЯХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОГО НАГРЕВА

С использованием метода тепловых балансов построены теоретические зависимости по расчету установившегося теплового режима круглого канала с движущимся несжимаемым теплоносителем в условиях диэлектрического нагрева. Найдены такие локальные параметры по длине канала, как температура теплоносителя, внутренняя и наружная температура стенки, а также их максимальные значения и координаты местоположения. По этим данным оценивается работоспособность технологического канала при микроволновом воздействии.

Ключевые слова: тепловой баланс, диэлектрический нагрев, круглый канал, коэффициент теплопроводности, коэффициент теплоотдачи.

Введение

Сфера применения СВЧ-излучения в науке и технике постоянно расширяется. Превалируют процессы, связанные с микроволновой обработкой разных материалов, с сушкой сельскохозяйственной продукции, с прогревом нефти и нефтепродуктов для снижения вязкости при их транспортировке по трубопроводам, с обогащением углей и т. д. Часть из них подробно освещена в известных монографиях А. Н. Диденко [1; 2], Э. Окресса [3] и др.

Весьма перспективно использование электромагнитной энергии сверхвысокочастотного диапазона в инновационных и критических технологиях. Здесь следует выделить, прежде всего, воздействие СВЧ-излучения в области органического синтеза, когда скорости ряда химических реакций

ускоряются в десятки и сотни раз. Примечателен эффект повышения прочности капроновых канатов, прошедших кратковременную микроволновую обработку, более чем на порядок. Целесообразно применение СВЧ при создании наноматериалов, что позволяет свести к минимуму объем примесей в нанопорошках. Актуально разрушение с помощью СВЧ-излучения парафиновых пробок при транспортировке нефтепродуктов.

В настоящей работе основное внимание сосредоточено на изучении тепловых режимов технологических каналов с движением рабочей среды. Рассматривается диэлектрический нагрев несжимаемой жидкости в круглом канале. В задаче приняты следующие допущения. Теплофизические и электрофизические свойства материалов данного канала постоянны. Это позволило разделить связанную систему на две незави-

Кудашкин Д. В., Саломатов В. В., Саломатов А. В. Установившийся тепловой режим потока жидкости в круглом канале в условиях диэлектрического нагрева // Сибирский физический журнал. 2018. Т. 13, № 2. С. 16–22.

симые. Электрофизическая часть задачи сводится к выражению для внутреннего источника тепла от поглощения СВЧ-энергии в виде закона Бугера [4]. Схема теплофизической части задачи для установившегося теплового режима круглого канала приведена на рис. 1. Несжимаемая жидкость с расходом $G_{ж}$ (кг/с) и теплоемкостью $C_{ж}$ (кДж/кг К) втекает в круглый канал внутренним диаметром $d_в$ и внешнем $d_н$ (м) с температурой $T_{ж}^{вх}$ (К). Движущийся поток взаимодействует с внутренней поверхностью канала по закону конвекции Ньютона с коэффициентом теплоотдачи α (Вт/(м²К)). Внешняя поверхность трубы теплоизолирована.

I режим. Стенка канала выполнена из диэлектрического материала. Найти характер изменения температур жидкости, внутренней и внешней стенки трубы по длине канала.

1. Найдем изменение температуры жидкости по длине канала.

Составим элементарный баланс подвода тепла за счет поглощения СВЧ-энергии и отвода тепла жидкостью на участке трубы dx :

$$q_{\nu_01} e^{-\kappa_1 x} \frac{\pi}{4} (d_n^2 - d_v^2) dx = C_{ж} G_{ж} dT_{ж}.$$

Разделяя переменные

$$dT_{ж} = \frac{q_{\nu_01} e^{-\kappa_1 x} \pi (d_n^2 - d_v^2)}{4 C_{ж} G_{ж}} dx \quad (1)$$

и интегрируя (1) по $T_{ж}$ от $T_{ж}^{вх}$ до текущего значения $T_{ж}(x)$ и по x от нуля до локального x , получим

$$T_{ж}(x) = T_{ж}^{вх} + \frac{q_{\nu_01} \pi (d_n^2 - d_v^2)}{4 C_{ж} G_{ж} \kappa_1} (1 - e^{-\kappa_1 x}). \quad (2)$$

Важным расчетным параметром является температура теплоносителя на выходе из канала длиной l (м):

$$T_{ж}^{вых} = T_{ж}^{вх} + \frac{q_{\nu_01} \pi (d_n^2 - d_v^2)}{4 C_{ж} G_{ж} \kappa_1} (1 - e^{-\kappa_1 l}).$$

Эта величина жестко регламентирована [5].

2. Найдем изменение температуры внутренней стенки трубы $T_в(x)$ по длине канала.

Запишем элементарный баланс подвода тепла за счет микроволнового поглощения энергии и отвода жидкости конвективным способом на участке dx :

$$\begin{aligned} q_{\nu_01} e^{-\kappa_1 x} \frac{\pi}{4} (d_n^2 - d_v^2) dx = \\ = \alpha [T_в(x) - T_{ж}(x)] \pi d_в dx. \end{aligned}$$

В результате искомая температура внутренней стенки трубы $T_в(x)$ примет вид

$$\begin{aligned} T_в(x) = T_{ж}^{вх} + \frac{q_{\nu_01} \pi (d_n^2 - d_v^2)}{4 C_{ж} G_{ж} \kappa_1} (1 - e^{-\kappa_1 x}) + \\ + \frac{q_{\nu_01} (d_n^2 - d_v^2) e^{-\kappa_1 x}}{4 \alpha d_в}. \end{aligned} \quad (3)$$

3. Температура наружной стенки канала находится интегрированием следующего элементарного баланса тепла. Подвод тепла осуществляется за счет поглощения СВЧ-излучения. Отвод реализуется механизмом

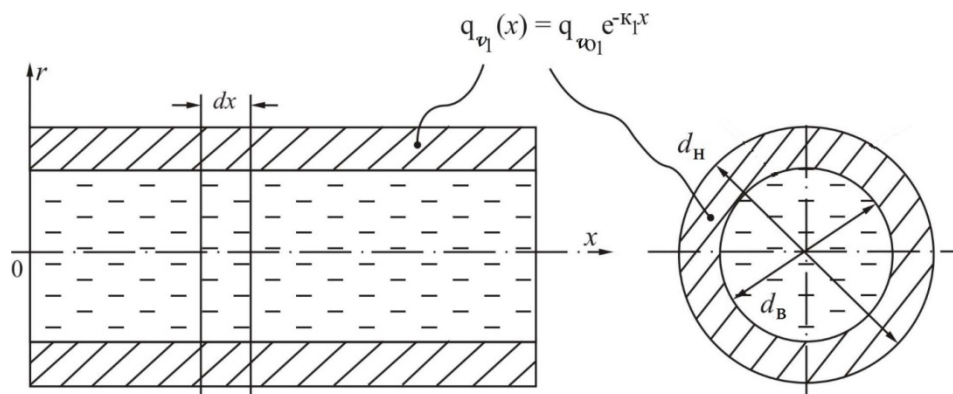


Рис. 1. Микроволновой нагрев круглой трубы, охлаждаемой несжимаемой жидкостью

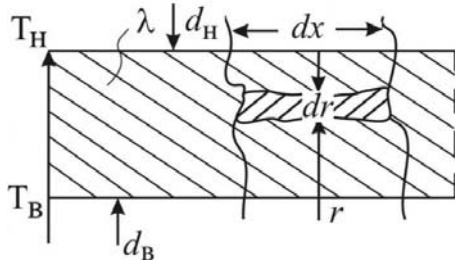


Рис. 2. Схема отвода тепла теплопроводностью через стенку круглой трубы

теплопроводности через стенку круглого канала (рис. 2) В результате имеем

$$-\lambda \frac{dT}{dr} 2\pi r dx = q_{\nu_1} e^{-\kappa_1 x} \pi (r^2 - r_n^2) dx. \quad (4)$$

Разделяя в (4) переменные и интегрируя по T от T_θ до T_n и по r в пределах от r_θ до r_n , получим выражение для расчета наружной температуры стенки канала по его длине

$$T_n(x) = T_{ж}^{ex} + \frac{q_{\nu_1} \pi (d_n^2 - d_\theta^2)}{4C_{ж} G_{ж} \kappa_1} (1 - e^{-\kappa_1 x}) + \frac{q_{\nu_1} (d_n^2 - d_\theta^2) e^{-\kappa_1 x}}{d d_{\theta 1}} + \frac{q_{\nu_1} e^{-\kappa_1 x}}{2\lambda} \left[\left(\frac{d_n^2 - d_\theta^2}{8} \right) - \frac{d_n^2}{4} \ln \frac{d_n}{d_\theta} \right]. \quad (5)$$

II режим. В этом случае диэлектрическими свойствами обладает жидкость, движущаяся внутри канала. Схема задачи приведена на рис. 3.

1. Распределение температуры диэлектрической жидкости в круглом канале по длине найдется с использованием следующего элементарного теплового баланса.

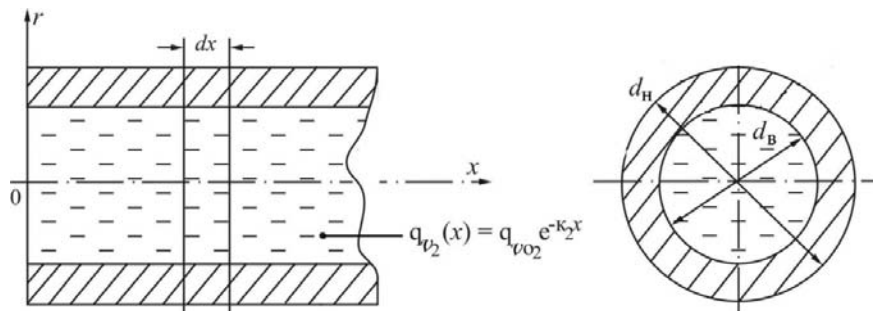


Рис. 3. СВЧ-нагрев диэлектрической жидкости в круглой трубе

Подвод тепла за счет поглощения СВЧ-энергии равен

$$q_{\nu_2} e^{-\kappa_2 x} \frac{\pi d_\theta^2}{4} dx,$$

а отвод связан с аккумулярованием этого тепла жидкостью

$$c_{ж} G_{ж} dT_{ж}.$$

В итоге имеем

$$q_{\nu_2} e^{-\kappa_2 x} \frac{\pi d_\theta^2}{4} dx = c_{ж} G_{ж} dT_{ж}. \quad (6)$$

Интегрируя (6) и подставляя пределы от $T_{ж}^{ex}$ до $T_{ж}(x)$ и от 0 до текущего x , получим зависимость температуры жидкости от координаты:

$$T_{ж}(x) = T_{ж}^{ex} + \frac{q_{\nu_2} \pi d_\theta^2}{4c_{ж} G_{ж} \kappa_2} (1 - e^{-\kappa_2 x}). \quad (7)$$

Температура на выходе из канал равна

$$T_{ж}^{вых} = T_{ж}^{ex} + \frac{q_{\nu_2} \pi d_\theta^2}{4c_{ж} G_{ж} \kappa_2} (1 - e^{-\kappa_2 l}).$$

2. Температурная функция для внутренней поверхности канала $T_\theta(x)$ ищется из следующего дифференциального теплового баланса

$$q_{\nu_2} e^{-\kappa_2 x} \frac{\pi d_\theta^2}{4} dx = \alpha [T_{ж}(x) - T_\theta(x)] \pi d_\theta dx.$$

Эта температура равна

$$T_\theta(x) = T_{ж}^{ex} + \frac{q_{\nu_2} \pi d_\theta^2}{4c_{ж} G_{ж} \kappa_2} (1 - e^{-\kappa_2 x}) - \frac{q_{\nu_2} d_\theta^2 e^{-\kappa_2 x}}{4 \alpha d_\theta}. \quad (8)$$

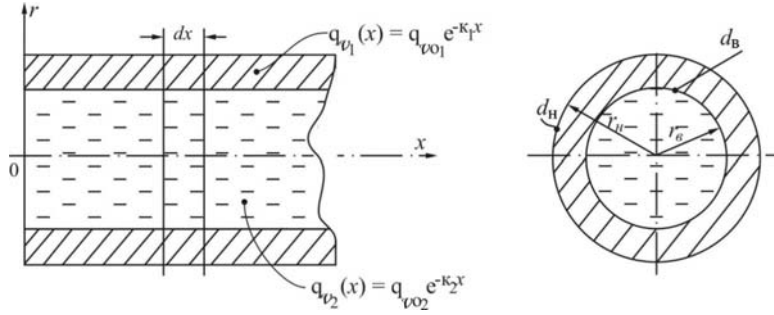


Рис. 4. Микроволновой нагрев жидкости и стенки круглой трубы в установившемся режиме

3. Температура на наружной поверхности канала $T_n(x)$ найдется из теплового дифференциального баланса (см. рис. 2):

$$-\lambda \frac{dT}{dr} 2\pi r dx = q_{v02} e^{-\kappa_2 x} \pi (r^2 - r_n^2) dx,$$

решая который получим

$$T_n(x) = T_{жс}^{ex} + \frac{q_{v02} \pi d_г^2}{4 c_{жс} G_{жс} \kappa_2} (1 - e^{-\kappa_2 x}) - \frac{q_{v02o} \pi d_г^2 e^{-\kappa_2 x}}{4 \alpha d_г} - \frac{q_{v02} e^{-\kappa_2 x}}{2 \lambda} \left[(r_n^2 - r_г^2) - r_n^2 \ln \frac{r_n}{r_г} \right]. \quad (9)$$

III режим. Данный режим включает энерговыделение от поглощения микроволновой энергии как жидкостью, так и стенкой канала. Схема такого процесса показана на рис. 4.

1. Температура жидкости в канале. Этот параметр находится из дифференциального уравнения теплового баланса

$$q_{v01} e^{-\kappa_1 x} \pi \left(\frac{d_n^2}{4} - \frac{d_г^2}{4} \right) dx + q_{v02} e^{-\kappa_2 x} \frac{\pi d_г^2}{4} dx = c_{жс} G_{жс} dT_{жс}. \quad (10)$$

Интегралом уравнения (10) является выражение

$$T_{жс}(x) = T_{жс}^{ex} + \frac{1}{c_{жс} G_{жс}} \left[q_{v01} \frac{\pi}{\kappa_1} \left(\frac{d_n^2}{4} - \frac{d_г^2}{4} \right) (1 - e^{-\kappa_1 x}) + q_{v02} \frac{\pi d_г^2}{4 \kappa_2} (1 - e^{-\kappa_2 x}) \right]. \quad (11)$$

Температура жидкости на выходе из канала при $x = l$ равна

$$T_{жс}^{вых} = T_{жс}^{ex} + \frac{1}{c_{жс} G_{жс}} \times \left[q_{v01} \frac{\pi}{\kappa_1} \left(\frac{d_n^2}{4} - \frac{d_г^2}{4} \right) (1 - e^{-\kappa_1 l}) + q_{v02} \frac{\pi d_г^2}{4 \kappa_2} (1 - e^{-\kappa_2 l}) \right].$$

Найдем экстремум функции $T_{жс}(x)$ (11). Приравняв первую производную по x к нулю, найдем координату расположения максимальной температуры

$$x_{max1} = \frac{\ln [q_{v02o} d_г^2] - \ln [q_{v01} (d_n^2 - d_г^2)]}{\kappa_1 + \kappa_2}. \quad (12)$$

Подставляя (12) в (11), определим максимальное значение температуры теплоносителя

$$T_{жс}^{max} = T_{жс}^{ex} + \frac{1}{c_{жс} G_{жс}} \times \left[q_{v01} \frac{\pi}{\kappa_1} \left(\frac{d_n^2}{4} - \frac{d_г^2}{4} \right) (1 - e^{-\kappa_1 x_{max1}}) + q_{v02o} \frac{\pi d_г^2}{4 \kappa_2} (1 - e^{-\kappa_2 x_{max1}}) \right].$$

2. Распределение по длине канала температуры внутренней поверхности стенки $T_г(x)$ находится интегрированием дифференциального уравнения

$$\left[q_{v01} e^{-\kappa_1 x} \pi \left(\frac{d_n^2}{4} - \frac{d_г^2}{4} \right) + q_{v02} e^{-\kappa_2 x} \frac{\pi d_г^2}{4} \right] dx = \alpha [T_г(x) - T_{жс}(x)] \pi d_г dx. \quad (13)$$

Решением (13) является следующее выражение:

$$T_{\theta}(x) = T_{\text{жс}}(x) + \frac{1}{\alpha} \times \left[q_{v_{o1}} e^{-\kappa_1 x} \pi \left(\frac{d_H^2}{4} - \frac{d_{\theta}^2}{4} \right) + q_{v_{o2}} e^{-\kappa_2 x} \frac{\pi d_{\theta}^2}{4} \right].$$

В итоге окончательное решение для $T_{\theta}(x)$ примет вид

$$T_{\theta}(x) = T_{\text{жс}}^{\text{ex}} + \frac{1}{c_{\text{жс}} G_{\text{жс}}} \times \left[q_{v_{o1}} \frac{\pi}{\kappa_1} \left(\frac{d_H^2}{4} - \frac{d_{\theta}^2}{4} \right) (1 - e^{-\kappa_1 x}) + q_{v_{o2}} \frac{\pi d_{\theta}^2}{4 \kappa_2} (1 - e^{-\kappa_2 x}) \right] + \frac{1}{\alpha} \left[q_{v_{o1}} e^{-\kappa_1 x} \pi \left(\frac{d_H^2}{4} - \frac{d_{\theta}^2}{4} \right) + q_{v_{o2}} e^{-\kappa_2 x} \frac{\pi d_{\theta}^2}{4} \right] \quad (14)$$

Исследуем функцию (14) на максимум. Приравнявая первую производную по x к нулю, получим координату x_{max_2} расположения максимальной температуры T_{θ}^{max} :

$$x_{\text{max}_2} = \frac{1}{(\kappa_1 - \kappa_2)} \left\{ \ln \left[q_{v_{o2}} d_{\theta}^2 \left(\frac{1}{c_{\text{жс}} G_{\text{жс}} \kappa_2} - \frac{\kappa_2}{\pi d_{\theta} \alpha} \right) \right] - \ln \left[q_{v_{o1}} (d_H^2 - d_{\theta}^2) \left(\frac{1}{c_{\text{жс}} G_{\text{жс}} \kappa_1} - \frac{\kappa_1}{\pi d_{\theta} \alpha} \right) \right] \right\}. \quad (15)$$

Подставляя x_{max_2} из (15), имеем из (14) максимальное значение температуры внутренней поверхности стенки трубы T_{θ}^{max} :

$$T_{\theta}^{\text{max}}(x_{\text{max}_2}) = T_{\text{жс}}^{\text{ex}} + \frac{1}{c_{\text{жс}} G_{\text{жс}}} \left[q_{v_{o1}} \frac{\pi}{\kappa_1} \left(\frac{d_H^2}{4} - \frac{d_{\theta}^2}{4} \right) (1 - e^{-\kappa_1 x_{\text{max}_2}}) + q_{v_{o2}} \frac{\pi d_{\theta}^2}{4 \kappa_2} (1 - e^{-\kappa_2 x_{\text{max}_2}}) \right] + \frac{1}{\pi d_{\theta} \alpha} \left[q_{v_{o1}} e^{-\kappa_1 x_{\text{max}_2}} \pi \left(\frac{d_H^2}{4} - \frac{d_{\theta}^2}{4} \right) + q_{v_{o2}} e^{-\kappa_2 x_{\text{max}_2}} \frac{\pi d_{\theta}^2}{4} \right].$$

3. Распределение температуры наружной стенки канала $T_H(x)$ по длине найдется ин-

тегрированием следующего дифференциального теплового баланса (см. рис. 2).

$$q_{v_{o1}} \pi e^{-\kappa_1 x} \left(r^2 - \frac{d_{\theta}^2}{4} \right) dx = -\lambda \frac{dT}{dr} 2\pi r dx. \quad (16)$$

Интеграл последнего уравнения (16) имеет вид

$$T_H(x) = T_{\theta}(x) - \frac{q_{v_{o1}}}{2\lambda} e^{-\kappa_1 x} \left[\left(\frac{d_H^2}{8} - \frac{d_{\theta}^2}{8} \right) - \frac{d_{\theta}^2}{4} \ln \frac{d_H}{d_{\theta}} \right].$$

Подставляя выражение $T_{\theta}(x)$ из (14), выразим итоговую зависимость для наружной температуры стенки по длине канала:

$$T_H(x) = T_{\text{жс}}^{\text{ex}} + \frac{1}{c_{\text{жс}} G_{\text{жс}}} \left[q_{v_{o1}} \frac{\pi}{\kappa_1} \left(\frac{d_H^2}{4} - \frac{d_{\theta}^2}{4} \right) (1 - e^{-\kappa_1 x}) + q_{v_{o2}} \frac{\pi d_{\theta}^2}{4 \kappa_2} (1 - e^{-\kappa_2 x}) \right] + \frac{1}{\pi d_{\theta} \alpha} \left[q_{v_{o1}} e^{-\kappa_1 x} \pi \left(\frac{d_H^2}{4} - \frac{d_{\theta}^2}{4} \right) + q_{v_{o2}} e^{-\kappa_2 x} \frac{\pi d_{\theta}^2}{4} \right] - \frac{q_{v_{o1}}}{2\lambda} e^{-\kappa_1 x} \left[\left(\frac{d_H^2}{8} - \frac{d_{\theta}^2}{8} \right) - \frac{d_{\theta}^2}{4} \ln \frac{d_H}{d_{\theta}} \right]. \quad (17)$$

Исследуем (17) на экстремум. Для этого приравняем первую производную к нулю. В результате найдем координату ее максимального значения:

$$x_{\text{max}_3} = (\kappa_2 - \kappa_1)^{-1} \ln \left[\pi q_{v_{o1}} (d_H^2 - d_{\theta}^2) \left(\frac{1}{c_{\text{жс}} G_{\text{жс}} \kappa_1} - \frac{\kappa_1}{\pi d_{\theta} \alpha} \right) + q_{v_{o1}} \frac{k_1}{4\lambda} \left(d_H^2 - d_{\theta}^2 - 2d_{\theta}^2 \ln \frac{d_H}{d_{\theta}} \right) \right] - \ln \left[\pi q_{v_{o2}} d_{\theta}^2 \left(\frac{1}{c_{\text{жс}} G_{\text{жс}} \kappa_2} - \frac{\kappa_2}{\pi d_{\theta} \alpha} \right) \right].$$

Подставляя x_{max_3} в (17), получим выражение для расчета T_H^{max}

$$T_H^{\text{max}} = T_{\text{жс}}^{\text{ex}} + \frac{1}{c_{\text{жс}} G_{\text{жс}}} \left[q_{v_{o1}} \frac{\pi}{\kappa_1} \left(\frac{d_H^2}{4} - \frac{d_{\theta}^2}{4} \right) (1 - e^{-\kappa_1 x_{\text{max}_3}}) + \right.$$

$$\begin{aligned}
 & \left. + q_{vo_2} \frac{\pi d_g^2}{4\kappa_2} (1 - e^{-\kappa_2 x_{\max 3}}) \right] + \\
 & + \frac{1}{\alpha} \left[q_{vo_1} e^{-\kappa_1 x_{\max 3}} \pi \left(\frac{d_H^2}{4} - \frac{d_g^2}{4} \right) + q_{vo_2} e^{-\kappa_2 x_{\max 3}} \frac{\pi d_g^2}{4} \right] - \\
 & - \frac{q_{vo_1}}{2\lambda} e^{-\kappa_1 x_{\max 3}} \left[\left(\frac{d_H^2}{8} - \frac{d_g^2}{8} \right) - \frac{d_g^2}{4} \ln \frac{d_H}{d_g} \right].
 \end{aligned}$$

Заключение

Вопросы тепловой обработки движущихся сред в каналах в условиях диэлектрического нагрева находят все более широкое приложение, в частности, в нефтепроводах и других системах. С использованием элементарных тепловых балансов получены аналитические зависимости по установившемуся распределению по длине канала температуры теплоносителя, внутренней и внешней температуры стенки. Найдены максимальные значения и координаты их расположения. По этим данным дается оценка работоспособности технологического канала.

Полученные расчетные зависимости по определению температуры жидкости (2), (7), (11), внутренней (3), (8), (14) и внешней (5), (9), (17) температуры стенки по длине канала являются базовой информацией для выдачи экспертных оценок работоспособности такой системы.

Во-первых, из аналитических формул легко находится температура теплоносителя на выходе из канала. По требованию недопустимости кипения должно соблюдаться следующее неравенство: $T_{ж}^{вых} \leq T_s(p)$, где s – параметр насыщения, p – давление, под которым находится жидкость [6]. Если фазовый переход разрешен, то требуется уже другая расчетная зависимость по схеме двухфазной модели.

Во-вторых, важным расчетным параметром является максимальная температура стенки канала. Для каждого материала в результате ресурсных испытаний определено ее предельное значение. При любых режимах работы канала она не может превышать предельно допустимую [7].

В-третьих, расчетом находится также максимальная разность температур по сече-

нию стенки трубы. Этот параметр определяет максимальный уровень наиболее опасных растягивающих температурных напряжений, что в итоге гарантирует ресурсную надежность материала стенки канала [8].

Наконец, в-четвертых, подбором таких управляющих параметров, как расход жидкости через канал, интенсивность микроволнового воздействия на стенку и самой жидкости и др., удается настроить систему охлаждения / нагрева исследуемого канала.

Список литературы

1. Диденко А. Н. СВЧ-энергетика. Теория и практика. М.: Наука, 2003. 446 с.
2. Диденко А. Н., Зверев Б. В. СВЧ-энергетика. М.: Наука, 2000. 320 с.
3. Окресс Э. СВЧ-энергетика: В 3 т. М.: Мир, 1971.
4. Саломатов В. В. Математическое моделирование СВЧ-нагрева угольного полумассива // Ползуновский вестник. 2012. № 3. С. 31–33.
5. Анфиногентов В. И. Численное моделирование СВЧ электромагнитного нагрева несжимаемой жидкости, движущейся в цилиндрической трубе // Электромагнитные волны и электронные системы. 2006. Т. 11, № 23. С. 3–9.
6. Вукалович М. П., Новиков И. И. Техническая термодинамика. М.: Энергия, 1968. 496 с.
7. Электронный справочник по предельно допустимым температурам материалов. URL: Chemport.ru/data/
8. Гейтвуд Б. Е. Температурные напряжения. М.: Изд-во ИЛ, 1959. 473 с.

D. V. Kudashkin¹, **V. V. Salomatov**^{1,2}, **A. V. Salomatov**³

¹ *Novosibirsk State University*

2 Pirogov Str., Novosibirsk, 630090, Russian Federation

² *Institute of Thermophysics SB RAS*

1 Acad. Lavrentiev Ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation

³ *Public Joint Stock Company «Transneft»*

57 Bolshaya Polyanka, Moscow, 119180, Russian Federation

kudashkindmitrii@yandex.ru, salomatov.vv@mail.ru, salomatov@ak.transneft.ru

INSTALLED THERMAL RANGE OF THE ROUND CHANNEL IN THE CONDITIONS OF DIELECTRIC HEATING

Using the method of elementary thermal balances, theoretical dependences were constructed on the calculation of the steady-state thermal conditions of a circular channel with a moving incompressible coolant under conditions of dielectric heating. Such local parameters along the channel length as the coolant temperature, internal and external wall temperature, and also their maximum values and location coordinates are found. According to these data, the working capacity of the technological channel under microwave influence is estimated.

Keywords: heat balance, dielectric heating, round channel, thermal conductivity coefficient, heat transfer coefficient.

For citation:

Kudashkin D. V., Salomatov V. V., Salomatov A. V. Installed Thermal Range of the Round Channel in the Conditions of Dielectric Heating. *Siberian Journal of Physics*, 2018, vol. 13, no. 2, p. 16–22. (In Russ.)

DOI 10.25205/2541-9447-2018-13-2-16-22