

УДК: 614.844.6:544.772+662.62-911.38

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ В НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОМ ТВЕРДОТОПЛИВНОМ ГАЗОГЕНЕРАТОРЕ (НТГГ) С ИНЕРТНЫМ ТЕПЛООБМЕННИКОМ И РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

© Бортников Р.А., Сальников А.Ф.

e-mail: borneo.pstu@yandex.ru

*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
г. Пермь, Российская Федерация*

Важнейшей областью применения НТГГ с инертными теплообменниками являются системы объёмного аэрозольного пожаротушения [1].

Нередко разработчики генераторов огнетушащего аэрозоля сталкиваются с задачей определения связи параметров теплообмена с массогабаритными характеристиками теплообменников различных конструкций при максимальном снижении температуры продуктов сгорания аэрозольобразующего твердотопливного заряда. В первую очередь такая постановка задачи обуславливается возможным негативным термическим воздействием продуктов сгорания на человека, электронное оборудование и материальные ценности [2].

Целью работы является повышение эффективности инертных теплообменников генераторов огнетушащего аэрозоля и разработка НТГГ, сохраняющего безопасный диапазон концентрации, температуры и давления продуктов сгорания в защищаемом помещении.

Физические процессы в НТГГ включают в себя горение воспламенителя, прогрев, зажигание и горение твердого топлива, течение продуктов сгорания в камере сгорания и в каналах теплообменника. Отличительной особенностью аэрозольного НТГГ является его работа на докритическом режиме при давлении  $p < 0,2$  МПа [3].

В рамках поставленной цели произведен выбор принципиальных схем инертных теплообменников: трубчатые, пластинчатые, матричные; рассмотрены различные интенсификаторы теплообмена. Математическая модель построена на решении нестационарной задачи сопряженного теплообмена (1-2) для каждого из цилиндрических участков теплообменника средствами системы *Maple*. При определенных условиях ( $Bi \leq 1$ ) задача сопряженного теплообмена решена аналитически, с помощью преобразований Фурье и Лапласа. Разработанные программы позволили смоделировать влияние параметров теплообменника на основные выходные характеристики НТГГ. Верификация математической модели проводилась в лаборатории кафедры РКТ и ЭУ, ПНИПУ путем сопоставления расчетных и экспериментальных выходных характеристик. Погрешность не превышает 12%.

$$c_{pf} \cdot G \cdot (\partial T_f / \partial z) = \alpha_1 \cdot \Pi_1 \cdot (T_S - T_f) + \alpha_2 \cdot \Pi_2 \cdot (T_S - T_f), \quad (1)$$

$$(\rho c / \lambda)_S \cdot (\partial T_S / \partial t) - (\partial^2 T_S / \partial r^2) - (1/r) \cdot (\partial T_S / \partial r) = 0, \quad (2)$$

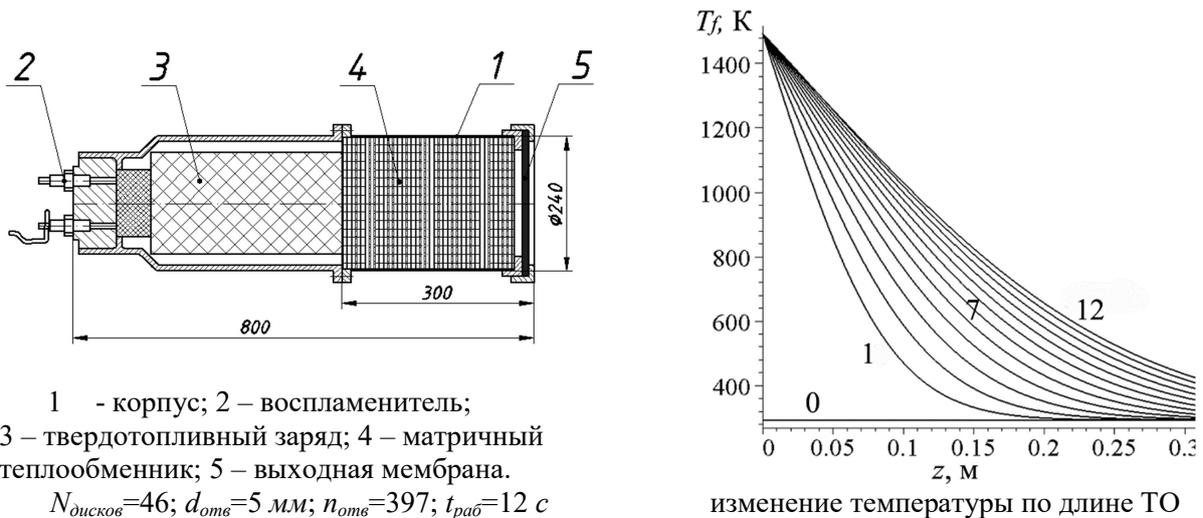
где  $T$  – температура,  $G$  – расход,  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи,  $\Pi$  – площадь поверхности,  $r, z, t$  – координаты; индексы:  $f$  – параметры, относящиеся к продуктам сгорания (газу),

$S$  – параметры стенки.

Результаты моделирования использовались для построения температурных полей в элементах и по длине теплообменников в зависимости от скорости газа и от соотношения энтальпии и поглощательной способности конструкций (массы,

материала, конфигурации). Получены рекомендации для проектирования, представленные в виде номограмм, позволяющих подобрать типоразмер трубчатых, пластинчатых или матричных теплообменников с заданными выходными характеристиками. С учетом рекомендаций разработаны НТГГ, теплообменники которых уменьшают температуру продуктов сгорания на 80% и более. Показано, что в матрицах из перфорированных дисков отношение изменения энтальпии к массе  $DH/m$  на 15% выше по сравнению с последовательно расположенными пластинами и на 30-40% выше по отношению к пучкам труб. Моделированием подтверждено, что после срабатывания аэрозольных НТГГ температура в помещении не превысит 320K.

На рисунке представлена одна из энергоэффективных схем НТГГ, с матричным теплообменником и его основные характеристики.



1 - корпус; 2 - воспламенитель;  
3 - твердотопливный заряд; 4 - матричный теплообменник; 5 - выходная мембрана.

$N_{\text{дисков}}=46; d_{\text{отв}}=5 \text{ мм}; n_{\text{отв}}=397; t_{\text{раб}}=12 \text{ с}$

- относительное падение энтальпии продуктов сгорания:  $\Delta=(H_{in}-H_{out})/H_{in}=93,83\%$ ;
- отношение изменения энтальпии к массе конструкции:  $\Delta H/m_{\text{ТО}}=75,97 \text{ кДж/кг}$ ;
- коэффициент компактности:  $\beta=F_{\text{ТО}}/V_{\text{ТО}}=1206,4 \text{ м}^2/\text{м}^3$ ;
- объем защищаемого помещения:  $V=180 \text{ м}^3$

изменение температуры по длине ТО

Рис. НТГГ с матричным теплообменником

Таким образом, проведенное исследование позволяет проектировать малогабаритные НТГГ с эффективными инертными теплообменниками, сохраняющие безопасный диапазон концентрации, температуры и давления воздушно-аэрозольной смеси в защищаемом помещении.

### Библиографический список

1. Девяткин, В. А., Серебренников С. Ю., Чернов С. В. Анализ эффективности автоматических аэрозольно – порошковых систем пожаротушения на крупных нефтегазовых объектах / В. А. Девяткин, С. Ю. Серебренников, С. В. Чернов // Пожаровзрывобезопасность. – 2015. – Т. 24, № 6. – С. 74-75. ВАК
2. Бортников, Р. А., Потапов, Б. Ф. Проектирование и оптимизация габаритно-массовых характеристик генераторов огнетушащего аэрозоля с инертным теплообменником / Р. А. Бортников, Б. Ф. Потапов // Вестник Ижевского государственного технического университета. – 2008. – № 3(39). – С. 6-8. ВАК
3. Серебренников, С. Ю. Аварийные системы с газогенераторами и двигателями на твердом топливе (теория и эксперимент) / С. Ю. Серебренников; Рос. акад. наук, Уральское отд-е, Ин-т механики сплошных сред.- Екатеринбург: УрО РАН, 2002.-266 с.