

ГАЗОТУРБИННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ КАК ИСТОЧНИК РАБОЧЕГО ТЕЛА В СИСТЕМЕ ПОЖАРОТУШЕНИЯ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ И ДАЛЬНОСТИ ДЕЙСТВИЯ

Игорь Александрович ЛЕПЕШИНСКИЙ родился в 1937 г. в городе Ленинграде. Профессор МАИ. Доктор технических наук, профессор. Основные научные интересы — в области газодинамики двухфазных сред и газотурбинных двигателей. Автор более 200 научных работ.

Igor A. LEPESHINSKY, D.Sci., was born in 1937, in Leningrad. He is a Professor at the MAI. His research interests are in gas dynamics of two-phase mediums and gas-turbine engines. He has published over 200 technical papers.

Юрий Владимирович ЗУЕВ родился в 1951 г. в поселке Нахабино Московской области. Профессор МАИ. Доктор технических наук, профессор. Основные научные интересы — в области газодинамики двухфазных сред. Автор более 100 научных работ.

Yury V. ZUYEV, D.Sci., was born in 1951, in the Moscow Region. He is a Professor at the MAI. His research interests are in gas dynamics of two-phase mediums. He has published over 100 technical papers.

Сакулта КИРДСУК родилась в городе Краби (Таиланд). Аспирантка МАИ. Основные научные интересы — в области теории газотурбинных двигателей. Автор двух научных работ.

Sakoulta KIRDSOOK, was born in Krabi, Thailand. She is a Postgraduate Student at the MAI. Her research interests are in theory of gas-turbine engines. She has published 2 technical papers.

Евгений Андреевич ИСТОМИН родился в 1986 г. в поселке Селенгинске Кабанского района Бурятской АССР. Студент МАИ. Основные научные интересы — в области газодинамики двухфазных сред.

Eugeny A. ISTOMIN, was born in 1986, in Selenginsk, Buryatia. He is a Student at the MAI. His research interests are in gas dynamics of two-phase mediums.

Рассматривается применение газотурбинного двигателя в качестве источника мощности и рабочего тела для системы пожаротушения большой мощности и дальности действия. Анализируется влияние схемы двигателя и его основных параметров на эффективность использования его в системе пожаротушения.

Условные обозначения

G_r — расход газа, отбираемого от двигателя в камеру смешения, кг/с;

G_B — расход воздуха через компрессор, кг/с;

G_T — расход топлива, кг/с;

$G_{ж1}$ — расход жидкости, впрыскиваемой в камеру сгорания, кг/с;

l_1 — отношение мощности, затрачиваемой на получение газового и жидкостного рабочих тел, к расходу газа, используемого в камере смешения, кДж/кг;

m_1 — степень двухконтурности;

N — мощность, затрачиваемая на получение газового и жидкостного рабочих тел, кВт;

$Q_{то}$ — тепловая энергия, возвращенная в цикл с помощью теплообменника, кВт;

$Q_{топл}$ — тепловая энергия подведенная с топливом, кВт;

$p_{к.см}$ — давление в камере смешения, Па;

T_r^* — температура газа перед турбиной, К;

π_k^* — степень повышения давления в компрессоре;

σ — коэффициент возврата тепла.

Введение

В городах ежедневно происходит большое количество пожаров различной сложности, периодически случаются крупные пожары, для тушения которых требуется длительное время. Пожары являются причиной большого материального ущерба и человеческих жертв, причем часто ущерб от про-

цесса тушения может превышать ущерб от пожара. Кроме этого, в атмосферу выбрасывается большое количество вредных веществ — продуктов сгорания: CO_2 , CO , NO_x , сажи и других веществ, оказывающих неблагоприятное воздействие на людей, здания и технические сооружения. Продукты сгорания при крупных пожарах приводят к ухудшению экологической обстановки не только в районе пожара, но и во всем регионе.

Наиболее опасны пожары на нефтеперерабатывающих заводах, бензозаправочных станциях, нефтехранилищах, на предприятиях, производящих экологически опасную продукцию, поскольку сегодня практически отсутствуют соответствующие системы пожаротушения, обеспечивающие большую дальность действия. Такие пожары обладают высокой интенсивностью излучения, не позволяющей приблизиться к ним на расстояние, обеспечиваемое существующими средствами.

В МАИ [1-8] разработана новая технология получения пожаротушащих струй и создан ряд систем, ее реализующих, под общим названием **газодинамические управляемые дисперсные пожарные системы**. Эта технология и разрабатываемые на ее основе системы позволяют успешно решать все вышерассмотренные проблемы пожаротушения.

Принцип действия пожарной системы большой мощности и дальности действия

Существо созданной технологии основывается на формировании высокоскоростных газочапельных струй, содержащих мелкодисперсные капли жидкости, а в качестве рабочего газа — воздух. Принципиальная схема системы, реализующей новую технологию, показана на рис. 1 [1]. Источник сжатого воздуха 1 с давлением до 10 атм и источник жидкости 2 с давлением до 10 атм подают свои рабочие тела в камеру смешения 3, где про-

исходит дробление жидкости на капли заданного размера. Полученная двухфазная газочапельная смесь направляется в сопло 4, где разгоняется до высокой скорости. На выходе образуется высокоскоростная газочапельная струя 5.

Система пожаротушения большой мощности и дальности может обеспечить дальность действия струи порядка 100—300 м, поэтому может использоваться для тушения пожаров с высокой интенсивностью излучения, т.е. там, где невозможно приблизиться к объекту, например в высотных зданиях, на топливных складах и т.д.

Результаты исследования эффективности пожарной системы на основе ГТД

Для реализации этой системы пожаротушения необходима мощная энергетика, которая может быть обеспечена только с помощью газотурбинного двигателя. Одна из возможных схем реализации такой системы показана на рис. 2.

Система включает газотурбинный двигатель, состоящий из компрессора 1, камеры сгорания 2, двух ступеней турбины 3, 4 для привода компрессора 1, свободной турбины 5 для привода водяных насосов 6, 7, теплообменника 8, сопла двигателя 11, камеры смешения газа с жидкостью (КСМ) 9 и сопла 10 для разгона полученной двухфазной среды и создания дальнобойной газочапельной струи. Горячий газ с высоким давлением отбирается за первой ступенью турбины 3. Поскольку температура горячего газа порядка 1000 К, а в КСМ нужно только высокое давление, а не высокая температура, система включает теплообменник 8. Для повышения экономичности системы вода, подаваемая насосом 6 в теплообменник 8, испаряется в нем и впрыскивается в камеру сгорания 2. Горячий газ, таким образом, охлаждается в теплообменнике, после чего поступает в камеру смешения 9. Особен-

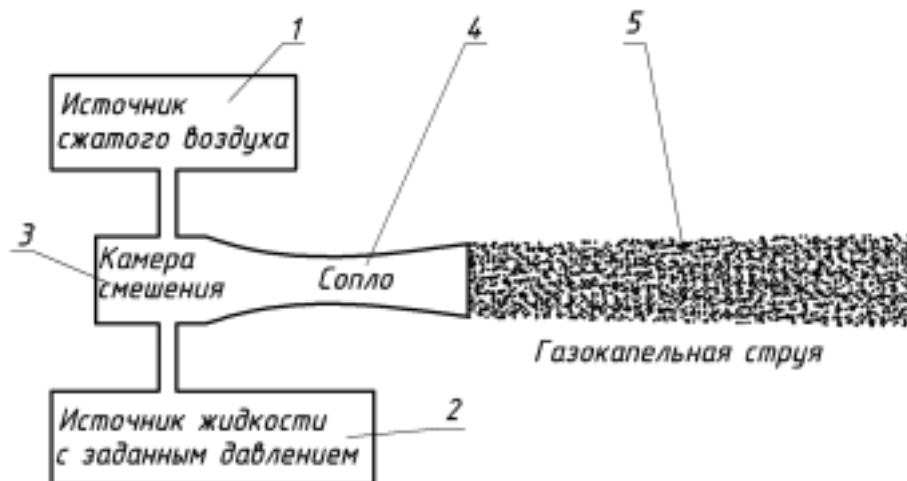


Рис. 1. Принципиальная схема системы пожаротушения

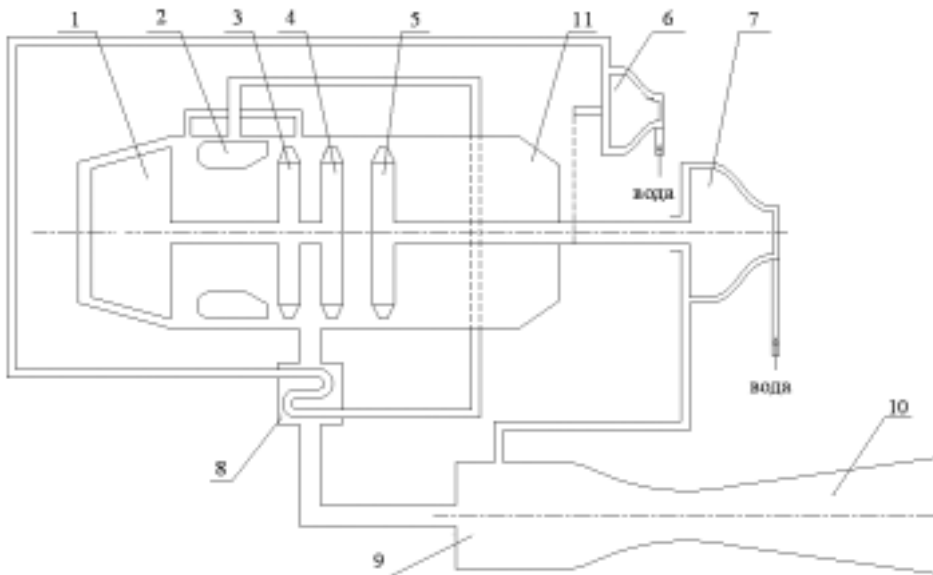


Рис. 2. Система пожаротушения с теплообменником

ностью данной схемы является возможность использования конкретного ГТД без существенной его переделки, например вертолетного двигателя.

Ниже рассматривается влияние различных параметров системы на ее эффективность. При этом предполагается, что параметры в камере смешения 9 и сопле 10 не изменяются, т.е. дальность двухфазной газокпельной струи остается постоянной.

В качестве критериев оценки эффективности системы использовались следующие параметры: G_T ,

$$m_1 = \frac{G_T}{G_B}, \quad l_1 = \frac{N}{G_T}, \quad \sigma = \frac{Q_{то}}{Q_{топл}}$$

В качестве параметров влияния использовались:

$$\pi_k^*, \quad T_T^* \text{ и } G_{ж1}$$

При этом сравнительно оценивались характеристики эффективности системы по схеме, представленной на рис. 2, при работе без теплообменника и с теплообменником. Была составлена программа расчета работы системы с учетом изменения теплофизических характеристик и компонентного состава рабочих тел в зависимости от температуры и давления и проведено численное исследование, результаты которого излагаются ниже.

На рис. 3 показано влияние температуры газа T_T^* перед турбиной на степень двухконтурности m_1 . График показывает увеличение m_1 как с ростом температуры T_T^* , так и при использовании теплообменника, причем использование теплообменника повышает эффективность примерно на 25%. При этом расход воздуха компрессора 1 (а следовательно, и его масса) может быть снижен. С ростом температуры несколько увеличивается расход топлива

G_T (рис. 4) и затраты мощности l_1 (рис. 5), но включение теплообменника позволяет уменьшить величину этих параметров и повысить эффективность системы примерно в тех же пределах.

На рис. 6 приведены результаты оценки коэффициента возврата тепла σ , величина которого уменьшается при увеличении T_T^* . Это связано с потерями тепла выхлопных газов после турбины.

На рис. 7–10 показано влияние количества впрыскиваемой жидкости $G_{ж1}$ на параметры эффективности. Расчеты показали, что увеличение количества впрыскиваемой жидкости улучшает все параметры эффективности, причем расход топлива G_T при этом практически не увеличивается.

На рис. 11–14 показано влияние степени повышения давления компрессора π_k^* на характери-

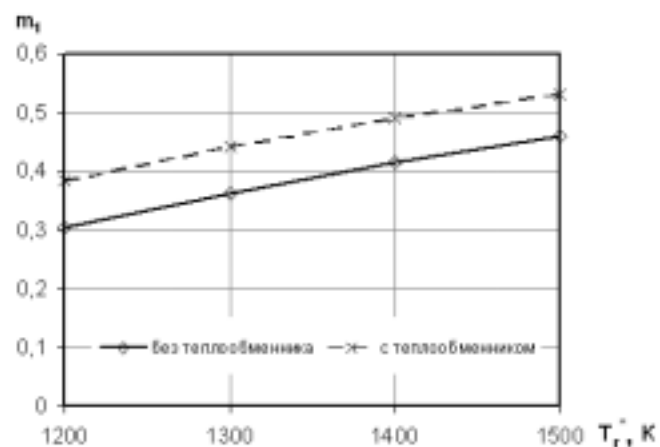


Рис. 3. Зависимость степени двухконтурности от температуры газа в камере сгорания при $\pi_k^* = 12$, $p_{к.см} = 10^6$ Па, $G_{ж1} = 0,2$ кг/с

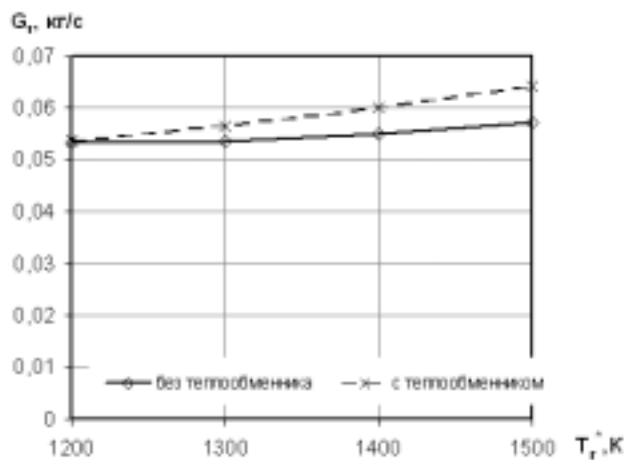


Рис. 4. Зависимость расхода топлива от температуры газа в камере сгорания при постоянном $\pi_k^* = 12$, $p_{к.см} = 10^6$ Па, $G_{ж1} = 0,2$ кг/с

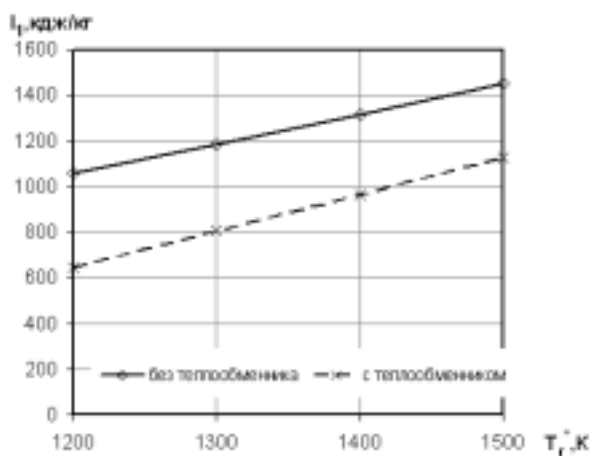


Рис. 5. Зависимость отношения мощности, затрачиваемой на получение газового и жидкостного рабочих тел, к расходу газа, используемого в камере смешения, от температуры газа в камере сгорания при постоянном

$$\pi_k^* = 12, p_{к.см} = 10^6 \text{ Па, } G_{ж1} = 0,2 \text{ кг/с}$$

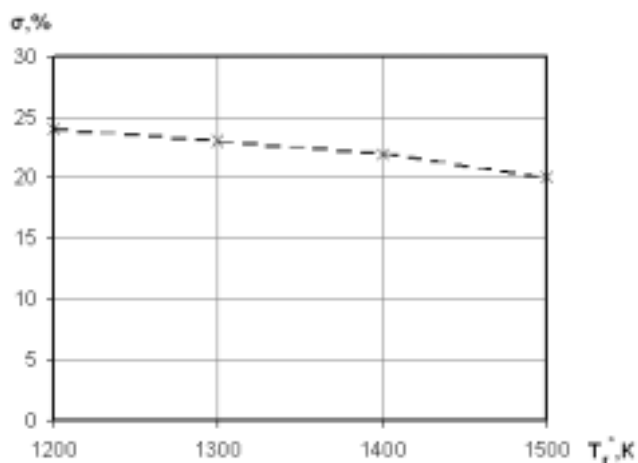


Рис. 6. Зависимость коэффициента возврата тепла от температуры газа в камере сгорания при постоянном $\pi_k^* = 12$, $p_{к.см} = 10^6$ Па, $G_{ж1} = 0,2$ кг/с

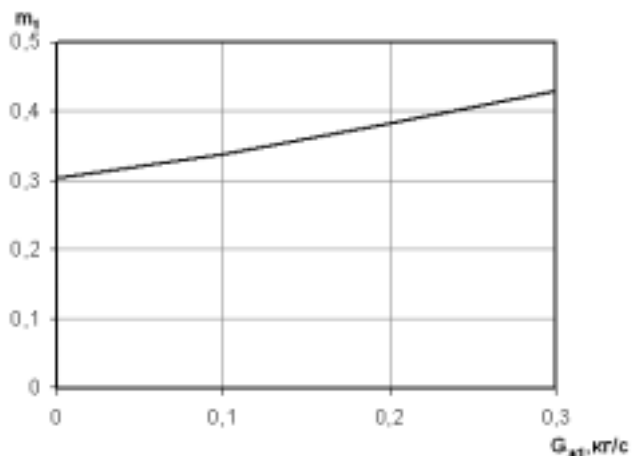


Рис. 7. Зависимость степени двухконтурности от расхода жидкости при постоянном $\pi_k^* = 12$, $T_T^* = 1200\text{K}$ и $p_{к.см} = 10^6$ Па

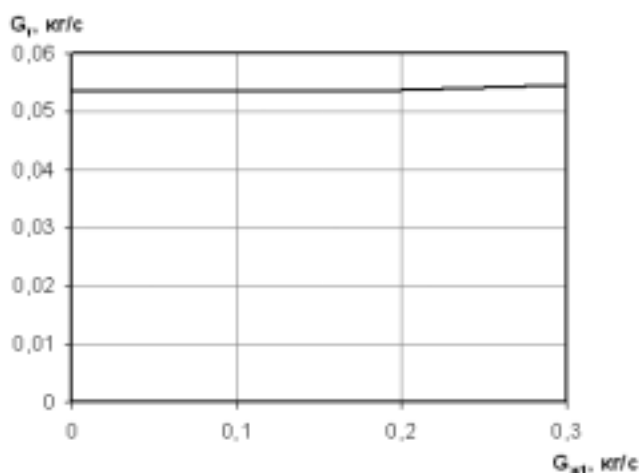


Рис. 8. Зависимость расхода топлива от расхода жидкости при постоянном $\pi_k^* = 12$, $T_T^* = 1200\text{K}$ и $p_{к.см} = 10^6$ Па

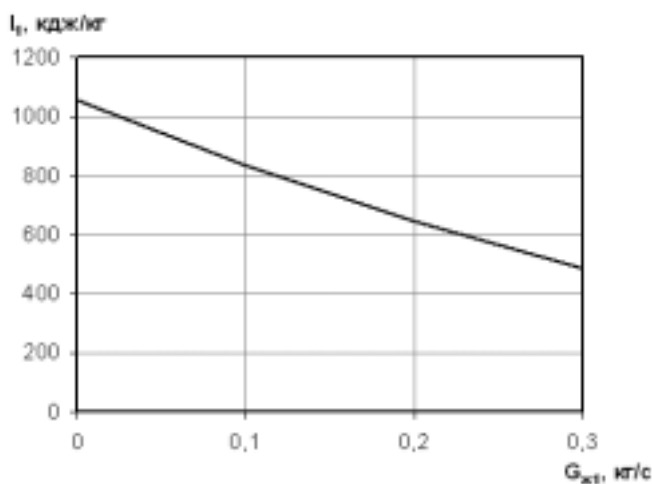


Рис. 9. Зависимость отношения мощности, затрачиваемой на получение газового и жидкостного рабочих тел, к расходу газа, используемого в камере смешения, от расхода жидкости при постоянном $\pi_k^* = 12$, $T_T^* = 1200\text{K}$ и $p_{к.см} = 10^6$ Па

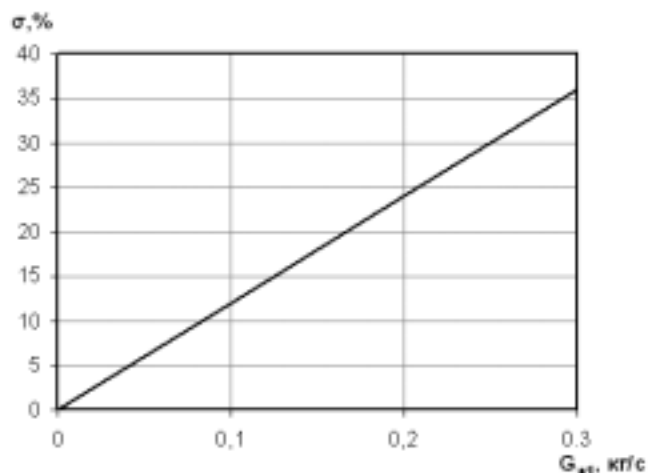


Рис. 10. Зависимость коэффициента возврата тепла от расхода жидкости при постоянном $\pi_k^* = 12$, $T_{\Gamma}^* = 1200\text{K}$ и $p_{\text{к.см}} = 10^6 \text{ Па}$

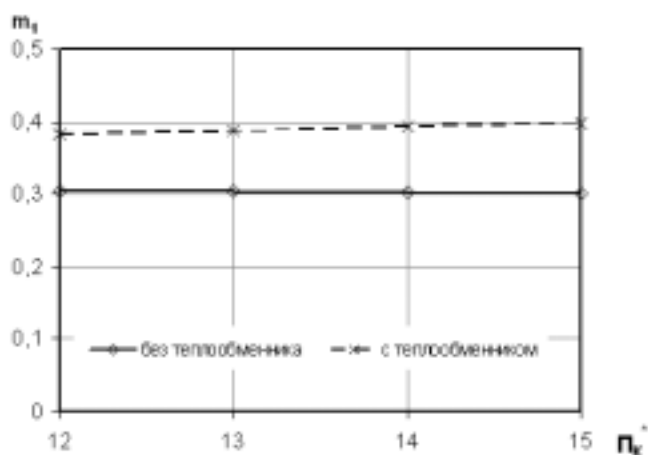


Рис. 11. Зависимость степени двухконтурности от степени сжатия компрессора при постоянном $G_{\text{жл}} = 0,2 \text{ кг/с}$, $T_{\Gamma}^* = 1200\text{K}$ и $p_{\text{к.см}} = 10^6 \text{ Па}$

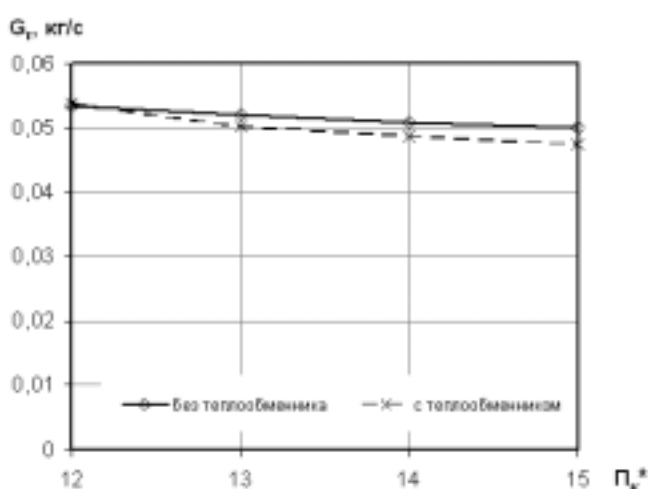


Рис. 12. Зависимость расхода топлива от степени сжатия компрессора при постоянном $G_{\text{жл}} = 0,2 \text{ кг/с}$, $T_{\Gamma}^* = 1200\text{K}$ и $p_{\text{к.см}} = 10^6 \text{ Па}$

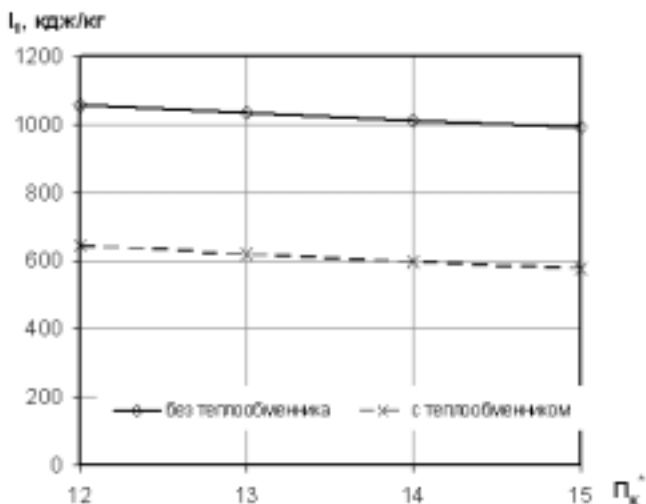


Рис. 13. Зависимость отношения мощности, затрачиваемой на получение газового и жидкостного рабочих тел, к расходу газа, используемого в камере смешения, от степени сжатия компрессора при постоянном $G_{\text{жл}} = 0,2 \text{ кг/с}$, $T_{\Gamma}^* = 1200\text{K}$ и $p_{\text{к.см}} = 10^6 \text{ Па}$

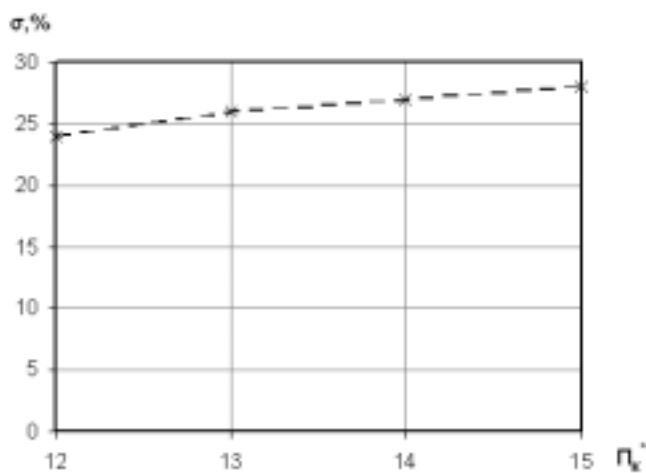


Рис. 14. Зависимость коэффициента возврата тепла от степени сжатия компрессора при постоянном $G_{\text{жл}} = 0,2 \text{ кг/с}$, $T_{\Gamma}^* = 1200\text{K}$ и $p_{\text{к.см}} = 10^6 \text{ Па}$

ки эффективности. Все характеристики эффективности улучшаются, но влияние π_k^* довольно слабое.

Исследование влияния давления в камере смешения $p_{\text{к.см}}$ на характеристики эффективности системы при прочих равных условиях показало, что рост давления ухудшает характеристики эффективности m_1 , G_T , I_1 , σ .

Выводы

Результаты проведенного исследования показали, что наиболее высокие характеристики эффективности пожарной системы большой дальности и мощности на базе газотурбинного двигателя рассматриваемой схемы получаются при допустимо

минимальных значениях температуры газа перед турбиной T_T^* и степени сжатия в компрессоре π_K^* и максимально возможных расходах воды $G_{ж1}$, используемой в теплообменнике и подаваемой в камеру сгорания.

Summary

An approach is discussed to use a gas-turbine engine as a source of working substance in long-range large-power fire suppression system. An analysis is carried out to evaluate influence of the engine scheme and its main parameters on efficiency of the fire suppression system.

Библиографический список

1. *Лепешинский И.А.* Новая технология получения газокapельных струй и системы пожаротушения на ее основе // Конверсия в машиностроении, 2005. №1-2. С.117-123.
2. *Лепешинский И.А.* Новая технология пожаротушения // Аэрокосмический курьер, 1999. № 5. С.48-50.
3. *Лепешинский И.А.* Новые технологии пожаротушения и системы для их реализации // 15-я научно-практическая конференция «Проблемы горения и тушения пожаров на рубеже веков». Москва, 1999. С.28-32.
4. *Лепешинский И.А., Зуев Ю.В., Воронецкий А.В.* Особенности распространения газокapельных турбулентных струй с большой концентрацией жидкости // Тезисы докладов, 4-я межд. конференция по неравновесным процессам в соплах и струях. Санкт-Петербург, 2002. С.240-241.

5. *Лепешинский И.А., Зуев Ю.В., Яковлев А.А., Молессон Г.В., Воронецкий А.В., Онес В.И., Ципенко А.В.* Численное и экспериментальное исследование газокapельного течения в сопле с большими концентрациями дисперсной фазы // Математическое моделирование, 2002. Т.14. № 7. С.18-24.

6. *Лепешинский И.А.* Системы пожаротушения большой мощности на основе авиационных газотурбинных двигателей // Международная научно-техническая конференция «Проблемы и перспективы развития двигателестроения». Самара, 2003. С.142-143.

7. *Лепешинский И.А., Зуев Ю.В., Баранов П.А., Кирдсук С.* Двухфазные газодинамические струи большой дальности для систем пожаротушения // Тезисы докладов, XXI международный семинар по струйным, отрывным и нестационарным течениям. Новосибирск, 2007. С.126-128.

8. *Лепешинский И.А., Зуев Ю.В., Баранов П.А., Кирдсук С.* Системы пожаротушения большой мощности и дальности действия // Тезисы конференции «Современные научно-технические проблемы транспорта». Ульяновск, 2007. С.150-151.

Московский авиационный институт
Статья поступила в редакцию 17.04.2008