УДК 621.45;62-6

И.В. Лугин, А.М. Красюк, О.А. Куликова

О ПРИМЕНЕНИИ ДВУХКОНТУРНОГО ТУРБОРЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ТОННЕЛЕЙ В СУРОВЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Рассмотрена перспектива использования отработавших летный ресурс двухконтурных турбореактивных двигателей для обогрева протяженных железнодорожных тоннелей в холодный период года. На примере Северомуйского тоннеля БАМа определены теплонедостатки в железнодорожном тоннеле, образующиеся при нагреве поезда, охлажденного длительным пребыванием в холодном атмосферном воздухе. Мощности установленного в тоннеле воздухонагревательного оборудования недостаточно для компенсации теплопотерь и сохранении требуемой положительной температуры тоннельного воздуха. Предложено использовать двухконтурные турбореактивные двигатели для компенсации теплопотерь и подачи нагретого воздуха в тоннель. Приведен расчет тепловой мощности воздушного потока от турбореактивного двигателя Д-36. Показано, что мощности, генерируемой авиационным двигателем, достаточно для компенсаций потерь тепла на нагрев холодного поезда в тоннеле. Предложено два варианта нагрева тоннельного воздуха: посредством использования теплообменника между холодным и горячим контурами (при этом в тоннель подается воздух только из холодного контура) и подачей в тоннель газовоздушной смеси из холодного и горячего контуров. Рассмотрена возможность питания турбореактивного двигателя как жидким топливом, так и газообразным. Проведено сравнение эффективности применения турбореактивного двигателя для вариантов использовании жидкого и газообразного топлива по критерию экономичности и поддержания требуемого состава воздуха в тоннеле. Обосновано преимущество использования в качестве топлива сжиженного углеводородного газа.

Ключевые слова: железнодорожный тоннель, двухконтурный турбореактивный двигатель, тепловая мощность, тепловентиляционная установка, керосин, сжиженный углеводородный газ, продукты сгорания.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-2-0-103-110

Интенсивное развитие железнодорожного транспорта на территории России привело к расширению строительства, железнодорожных дорог и дорожных сооружений. За последнее двадцать лет введены в эксплуатацию и реконструировано 27 железнодорожных тоннелей и более 20 тоннелей проектируются. Большая часть этих транспортных сооружений предназначена для эксплуатации в Сибири и на Дальнем Востоке. На сегодняшний день Северомуйский тоннель БАМа является самым длинным железнодорожным действующим тоннелем в

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2018. № 2. С. 103–110.
© И.В. Лугин, А.М. Красюк, О.А. Куликова. 2018.

России и одним из самых сложных тоннелей в части эксплуатации и обслуживания. Длина железнодорожного тоннеля составляет 15 343 м. Горные породы, окружающие тоннель, водонасыщены, водопритоки достигают 10 000 м^3/ч с каждого портала [1]. Опыт эксплуатации показал, что в период с ноября по март в средней части тоннеля на протяжении 2000 м происходит обледенение внутренней обделки тоннеля. Для поддержания безопасных условий прохождения составов, наледи и сосульки скалывают вручную, что требует выделения дополнительного временного окна и снижает пропускную способность тоннеля.

Теплонедостатки в тоннеле, приводящие к снижению температуры воздуха обусловлены двумя составляющими теплопотерь: нагрев врывающегося через порталы холодного воздуха; нагрев холодного поезда во время его движения по тоннелю. Поскольку обледенение обделки происходит в середине тоннеля, влиянием врывающегося с порталов холодного воздуха можно пренебречь и исследовать теплообмен между движущимся поездом и тоннельным воздухом. Интенсивность такого процесса прямо зависит от скорости обтекания поезда потоком набегающего воздуха, т.е. от параметров «поршневого эффекта» [2]. Исследования аэротермодинамики объекта подобной сложности проводятся натурными [3], модельными [4] или численными [5] экспериментами. По причине труднодоступности объекта и его протяженности, исследования теплообмена были проведены авторами путем численного эксперимента, результаты которого опубликованы в работе [1]. В этой работе показано, что при температуре атмосферного воздуха –40 °С основные теплопотери приходятся на нагрев холодного поезда, идущего по тоннелю, при этом требуемая тепловая мощность для их компенсации составляет 15,4 МВт.

Для предотвращения переохлаждения тоннельного воздуха, в вентиляционных зданиях на порталах тоннеля и на припортальных участках расположены электрические калориферные установки, подогревающие холодный воздух, врывающийся в тоннель вместе с входящими железнодорожными составами. Суммарная мощность калориферных установок составляет 3,66 МВт, по приведенным выше результатам исследования этого недостаточно. Причем устройство дополнительных калориферных установок весьма дорогостоящее мероприятие, связанное с подводом дополнительной электроэнергии и строительством трансформаторной подстанции.

Одним из вариантов эффективного решения задачи повышения температуры воздуха в тоннеле при экстремально низких температурах атмосферного воздуха, является использование турбореактивного двухконтурного двигателя (ТРД) [6] в качестве тепловентиляционной установки.

Проведем расчеты по определению тепловой мощности воздушного потока турбореактивного двигателя Д-36, которую необходимо направить в тоннель для предотвращения его переохлаждения.

Исходные данные [7, 8, 9]:

Секундный массовый расход топлива:

- на крейсерском режиме, $G_{т0}$ = = 0,315 кг/с;
- на крейсерском режиме при $T_н$ = = –40 °С, $G_{т0}$ = 0,275 кг/с.

Расход воздуха крейсерском режиме и t = –40 °С составляет 157 кг/с.

Скорость истечения из сопла:

- горячего контура, V_{C1} = 350 м/с;
- холодного контура V_{C2} = 205 v/с.

Скорость звука при $T_н$ = –40 °С, $V_{звука}$ = = 310 м/с.

Сечение сопла:

- внутреннего контура S_{C1} = 0,19 м^2;
- внешнего контура S_{C2} = 0,75 м^2.

Температура газов на выходе сопла горячего контура на крейсерском режиме около 200 °С (473 К).

В соответствии с нормативным документом [10] и данными архива погоды г. Северомуйска $T_н$ = –40 °С, $P_н$ = = 700 мм рт. ст. — соответственно, температура и давление окружающего воздуха. Нормальные условия приняты по ГОСТ 4401-81 «Атмосфера стандартная»: h = 0 м — высота установки двигателя, T_0 = 288 К, P_0 = 760 мм рт. ст., ρ_0 = 1,225 кг/м³.

Выполним расчет тепловой мощности воздушной струи на выходе из горячего контура ТРД, работающим на крейсерском режиме:

Плотность наружного воздуха:

$$\rho_H = \rho_0 \cdot \frac{T_0 \cdot P_H}{T_H \cdot P_0} =$$

$$= 1{,}225 \cdot \frac{288 \cdot 0{,}93310 \cdot 10^5}{233 \cdot 1{,}01325 \cdot 10^5} =$$

$$= 1{,}394 \text{ кг/м}^3;$$

Массовый расход воздуха на срезе сопла:

$$G = \rho_Н \cdot V_{s1} \cdot S_{c1} = 93 \text{ кг/с}.$$

Приведенная скорость на срезе сопла:

$$\lambda = 1/M,$$

M = 1,12 — число Маха, λ = 0,89.

Массовый расход воздуха с учетом приведенной скорости:

$$G' = G/M = 83 \text{ кг/с}.$$

Выполним расчет массового расхода воздуха по холодному контуру:

$$G = \rho_Н \cdot V_{s2} \cdot S_{c2} =$$

$$= 1{,}39 \cdot 205 \cdot 0{,}75 = 213{,}5 \text{ кг/с}.$$

Суммарный массовый расход воздуха равен:

$$\Sigma G = 83 + 213{,}5 = 296{,}5 \text{ кг/с}.$$

Для анализа возможности использования ТРД проведем расчет тепловой мощности N воздушной струи в зависимости от температуры воздуха:

$$N(t) = H_u \cdot g_{прив} \cdot \eta_г,$$

где H_u = 43 100 кДж/кг — теплотворная способность керосина марки ТС-1,

$$g_{прив}(t) = g \cdot \frac{P_H}{760} \cdot \sqrt{\frac{T_H}{288}} \text{ кг/с —}$$

приведенный расход топлива двигателем к нормальным условиям, $\eta_г$ = 1 — коэффициент выделения тепла, следовательно:

- при $T_н$ = –40 °С

$$g_{прив} = g \cdot \frac{700}{760} \cdot \sqrt{\frac{233}{288}} = 0{,}22 \text{ кг/с},$$

N = 43 100 · 0,22 = 9,482 МВт;

- при $T_н$ = –31 °С

$g_{прив}$ = 0,275кг/с, N = 11,85 МВт;

- при $T_н$ = –50 °С

$g_{прив}$ = 0,199 кг/с ,

N = 43 100×0,199 = 8,578 МВт.

На рис. 1 приведена зависимость тепловой мощности воздушной струи на выходе из ТРД от температуры атмосферного воздуха.

Анализ полученных результатов показывает, что использование ТРД позволит обеспечить вентиляционную систему Северомуйского тоннеля необходимым количеством тепла для компенсаций теплопотерь на нагрев холодного поезда, идущего по тоннелю. При этом требуемый расход топлива при использовании авиационного керосина ТС-1 составит около 0,22 кг/с при температуре наружного воздуха –40 °С.

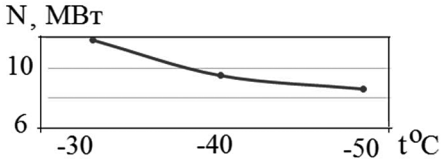


Рис. 1. Зависимость тепловой мощности воздушной струи на выходе из ТРД от температуры атмосферного воздуха

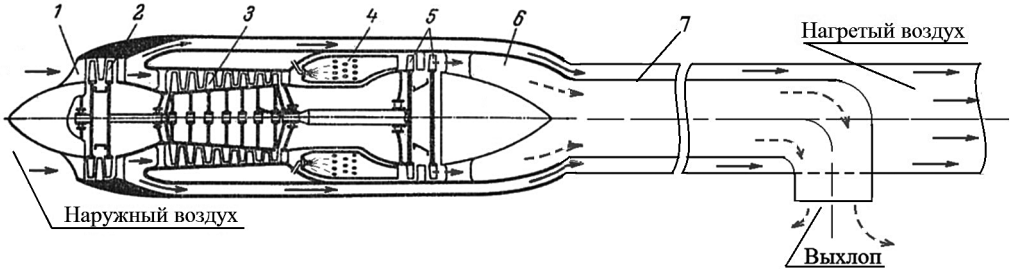


Рис. 2. Принципиальная схема применения двухконтурного двигателя Д-36 в качестве тепловентиляционной установки железнодорожного тоннеля, вариант с теплообменником: 1 — входная часть; 2 — вентилятор; 3 — компрессор; 4 — камера сгорания; 5 — турбина; 6 — реактивное сопло; 7 — теплообменник; сплошные стрелки — воздух; пунктирные стрелки — смесь воздуха и продуктов сгорания топлива

Двухконтурный ТРД в качестве тепловентиляционной установки может использоваться в двух вариантах:

• с применение теплообменника с компоновкой в виде концентрической трубы, который нагревает воздух холодного контура, подаваемый в тоннель, за счет его теплообмена с продуктами сгорания топлива из горячего контура (рис. 2);

• прямая подача газовоздушной смеси из холодного и горячего контура в тоннель.

Рассмотрим вариант с прямой подачей газовоздушной смеси в тоннель. К его преимуществам относится полное использование тепла, выделившегося в процессе сгорания топлива и использование ТРД в качестве источника тяги, к недостаткам — возможное превышение предельно-допустимой концентрации (ПДК) вредных или отравляющих продуктов сгорания в воздухе тоннеля. Выделение продуктов горения зависит от вида топлива. Проведем сравнение эффективности использования керосина ТС-1 и сжиженного углеводородного газа (СУГ), который также может использоваться в ТРД [7]. Основные характеристики топлива приведены в табл. 1. Исходные данные приняты на основе источников [12, 13].

Теплота сгорания СУГ на ~6,5% выше, чем у керосина, а стоимость на 35% ниже. Таким образом, использование газового топлива экономически более выгодно.

По экологическим критериям СУГ безвреднее, чем керосин ТС-1. В продуктах сгорания отсутствуют зола, копоть и такие канцерогены, как бензопирен. Основным компонентом СУГ является пропан, его продуктом сгорания является безвредный диоксид углерода и водяной пар. Единственным существенным загрязнителем атмосферы остаются окислы азота.

При сгорании керосина в ТРД кроме нейтральных компонентов (углекис-

Таблица 1

Сравнительные характеристики авиационного керосина ТС-1 и СУГ

Наименование параметра	Керосин ТС-1	СУГ
Плотность, кг/м^3	780—850	510
Низшая теплота сгорания при t = 25 °С и P = 1 атм., МДж/кг	43,1	45,9
Цена за 1 кг, руб.	25,2	16,3
Условия хранения	в емкостях	в емкостях СУГ

Таблица 2

Эмиссия вредных веществ при сжигании керосина

Вредные вещества	CO	C_nH_m	NO_x
Индекс эмиссии, г/кг	4—8	0,1—0,2	15
Эмиссия, кг/час	4,5—9,0	0,1—0,2	17

лый газ, пары воды, азот) в атмосферу поступают вредные вещества. К ним относятся: окись углерода CO (угарный газ); углеводороды C_nH_m (метан CH_4, ацетилен C_2H_2, этан C_2H_6, толуол $C_6H_5CH_3$ и др.); окислы азота (в основном NO_2 и NO); окислы серы (SO_2, SO_3); токсичные альдегиды (формальдегид HCHO, акролеин $CH_2 = CH — CHO$, уксусный альдегид CH3CHO и др.); твердые частицы, например, частицы сажи (C), создающие дымный шлейф за соплом двигателя.

Наибольшую опасность с экологической точки зрения представляет эмиссия авиационными двигателями окиси углерода CO, углеводородов C_nH_m, сажи, окислов азота NO_x и сернистого газа SO_2. Эмиссия любого из загрязняющих веществ тем больше, чем больше количество сжигаемого двигателем топлива в единицу времени, т.е. чем больше часовой расход топлива *Q* (кг/час): $E = EI \cdot Q$, где *EI* (г/кг) — коэффициент пропорциональности, называемый индексом эмиссии.

Рассчитанная эмиссия вредных веществ [14] при сгорании керосина в турбореактивном двигателе Д-36 с расходом топлива на крейсерском режиме, равным 1134 кг/ч приведена в табл. 2.

Согласно ГОСТ 17.2.2.04-86 контрольный параметр эмиссии авиационных двигателей не должен превышать следующих величин: для CO — 1,18 г/кг; для C_nH_m — 0,196 г/кг; для NO_x — $(4 + 0{,}2\ П_к) \cdot 10^{-1}$ г/кг = 0,68 г/кг.

По результатам оценки эмиссии для двигателя Д-36 и предельно допустимой эмиссии в соответствии с ГОСТом следует, что есть превышение по параметру CO и NO_x при подаче в тоннель продуктов сгорания топлива после двигателя. Перевод ГТД на СУГ дает заметный эффект в борьбе с загрязнением атмосферы. Результаты стендовых испытаний ряда авиационных двигателей при работе на СУГ, показали относительно низкие эмиссии оксидов азота NO_x. При этом сажеобразование практически отсутствует. Поэтому дымность продуктов сгорания природного газа во всех случаях ниже, чем керосина [15].

Следовательно, использование СУГ в качестве топлива для ТРД в тепловентиляционной установке более предпочтительно как по теплотворной способности, так и по меньшему количеству вредных веществ в выхлопной газовоздушной смеси.

Выводы

Использование двухконтурного турбореактивного двигателя Д-36 в качестве тепловентиляционной установки для железнодорожных тоннелей БАМа позволит компенсировать потери тепла на нагрев холодного поезда, идущего по тоннелю. Это предотвратит обледенение внутренней обделки тоннеля и обеспечит безопасные условия прохождения составов.

Сравнение видов топлива (керосина и СУГ) по критерию эффективности использования в тепловентиляционной установке с ТРД показало, что при использовании керосина необходим теплообменник с отводом выхлопных газов в атмосферу. При использовании СУГ в качестве топлива, возможна прямая подача нагретой газовоздушной смеси в железнодорожный тоннель.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Лугин И. В.*, *Витченко А. А.* Поддержание требуемого температурного режима в Северо-Муйском тоннеле в холодный период года средствами тоннельной вентиляции // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2014. — № 1. — Т. I. — С. 210—214.

2. *Lin C.-J., Chuah Y. K., Liu C.-W.* A study on underground tunnel ventilation for piston effects influenced by draught relief shaft in subway system, Appl. Therm. Eng., 2008, 28, pp. 372—379.

3. *Levoni P., Angeli D., Stalio E., Agnani E., Barozzi G. S., Cipollone M.* Fluid-dynamic characterisation of the Mont Blanc tunnel by multi-point airflow measurements, Tunn. Undergr. Space Technol., 48, 2015, pp. 110—122.

4. *Angui Li, Ying Zhang, Hub Jiang, Gao Ran* Reduced-scale experimental study of the temperature field and smoke development of the bus bar corridor fire in the underground hydraulic machinery plant, Tunn. Undergr. Space Technol., 2014, 41, pp. 95—103.

5. *Ang C. D. (E.), Rein G., Peiro J., Harrison R.* Simulating longitudinal ventilation flows in long tunnels: Comparison of full CFD and multi-scale modelling approaches in FDS6, Tunn. Undergr. Space Technol., 2016, 52, pp. 119—126.

6. *Петров Н. Н., Тимошенко И. И..* Тепловой режим вентиляционных стволов и его регулирование // ФТПРПИ. — 1985. — № 3. — С. 59—63.

7. *Киселев Ю. В.*, *Тиц С. Н.* Конструкция и техническая эксплуатация двигателя Д-36: Учебное пособие. — Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т., 2006. — 90 с.

8. *Ржавин Ю. А.* Осевые и центробежные компрессоры двигателей летательных аппаратов. Теория, конструкция и расчет. Учебник. — М.: Изд-во МАИ, 1995. — 344 с.

9. *Шулекин В. Т.*, *Медведев В. В.* Теория авиационных двигателей. Ч. 2. Газодинамический расчет турбореактивных и турбовальных двигателей воздушных судов гражданской авиации. Для студентов 3 курса специальности 160901 дневного и заочного обучения. — М.: МГТУ ГА, 2008. — 92 с.

10. *СП 131.13330.2012.* Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*. Введ. 01-01-2013. — М., 2012.

11. *Васильев Н. А.* Воспоминания о будущем: О самолете ТУ-156 // Крылья Родины. — 1999. — № 8. — С. 13—14.

12. *Варгафтик Н. Б.* Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. — М.: Наука, 1972. — 720 с.

13. *Ионин А. А.* Газоснабжение: Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Стройиздат, 1989. — 439 с.: ил.

14. *Асатуров М. Л.* Загрязнение окружающей среды при авиатранспортных процессах: учебное пособие. — СПб.: Университет гражданской авиации, 2010. — 94 с.

15. *Ассад М. С.*, *Пенязьков О. Г.* Продукты сгорания жидких и газообразных топлив. — Минск: Белорусская наука, 2010. — 305 с. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Лугин Иван Владимирович[1] — кандидат технических наук,
доцент, старший научный сотрудник,
e-mail: ivlugin@misd.ru,
Красюк Александр Михайлович[1,2] — доктор технических наук,
профессор, главный научный сотрудник,
Куликова Ольга Александровна[2] — студент,
[1] Институт горного дела им. Н.А. Чинакала
Сибирского отделения РАН,
[2] Новосибирский государственный технический университет.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 2, pp. 103–110.

I.V. Lugin, A.M. Krasyuk, O.A. Kulikova

APPLICATION OF TURBOJET TWO-CIRCUIT ENGINE FOR SUSTAINED THERMAL ENVIRONMENT IN RAILWAY TUNNELS IN SEVERE CLIMATIC CONDITIONS

The discussion focuses on application of used turbojet two-circuit engines in heating of long railway tunnels under harsh climate conditions in cold seasons. In terms of the longest Severomuisky Tunnel in the Baikal–Amur Mainline, the heat deficiency in a railway tunnel due to heating of a train after long stay in cold air is determined. The air heating equipment installed in the tunnel has insufficient capacity to compensate the heat loss and preserve the required positive air temperature in the tunnel. The heat deficiency in the tunnel when a train moves in it makes 10 MW when the ambient air temperature is -40 °C. The author proposes using turbojet two-circuit engines to compensate heat loss and to feed heated air in the tunnel. The air flow heating capacity is calculated in terms of turbojet engine D-36. It is illustrated that the aircraft engine generates sufficient capacity to compensate heat loss due to heating a cold train in the tunnel. There are two variants of tunnel air heating: 1—using a heat interchanger between coal and hot circuits with air flow from the cold circuit only; 2—air feed from the cold and hot circuits simultaneously. The second variant is analyzed in more detail. The turbojet supply alternatives with liquid and gas fuels are discussed. The alternatives of liquid and gas fuels are compared in terms of efficiency of turbojet engine by the criteria of economy and maintainability of the required air composition in the tunnel. The advantage of liquefied hydrocarbon gas as the turbojet engine fuel is validated.

Key words: railway tunnel, turbojet two-circuit engine, heating capacity, heat-and-ventilation plant, kerosene, hydrocarbon gas, combustion products.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-2-0-103-110

AUTHORS

Lugin I.V.[1], Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,
Senior Researcher, e-mail: ivlugin@misd.ru,
Krasyuk A.M.[1,2], Doctor of Technical Sciences, Professor,
Chief Researcher,
Kulikova O.A.[2], Student,
[1] Chinakal Institute of Mining of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,
630091, Novosibirsk, Russia,
Novosibirsk State Technical University, 630073, Novosibirsk, Russia.

REFERENCES

1. Lugin I. V., Vitchenko A. A. *Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornykh nauk*. 2014, no 1, vol. I, pp. 210—214.

2. Lin C.-J., Chuah Y. K., Liu C.-W. A study on underground tunnel ventilation for piston effects influenced by draught relief shaft in subway system, *Appl. Therm. Eng.*, 2008, 28, pp. 372—379.

3. Levoni P., Angeli D., Stalio E., Agnani E., Barozzi G. S., Cipollone M. Fluid-dynamic characterisation of the Mont Blanc tunnel by multi-point airflow measurements, *Tunn. Undergr. Space Technol.*, 48, 2015, pp. 110—122.

4. Angui Li, Ying Zhang, Hub Jiang, Gao Ran Reduced-scale experimental study of the temperature field and smoke development of the bus bar corridor fire in the underground hydraulic machinery plant, *Tunn. Undergr. Space Technol.*, 2014, 41, pp. 95—103.

5. Ang C. D. (E.), Rein G., Peiro J., Harrison R. Simulating longitudinal ventilation flows in long tunnels: Comparison of full CFD and multi-scale modelling approaches in FDS6, *Tunn. Undergr. Space Technol.*, 2016, 52, pp. 119—126.

6. Petrov N. N., Timoshenko I. I. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 1985, no 3, pp. 59—63.

7. Kiselev Yu. V., Tits S. N. *Konstruktsiya i tekhnicheskaya ekspluatatsiya dvigatelya D-36*: Uchebnoe posobie (Structure and operation of engine D-36: Educational aid), Samara, 2006, 90 p.

8. Rzhavin Yu. A. *Osevye i tsentrobezhnye kompressory dvigateley letatel'nykh apparatov. Teoriya, konstruktsiya i raschet*. Uchebnik (Axial and centrifugal compressors of aircraft engines. Theory, structure and design. Textbook), Moscow, Izd-vo MAI, 1995, 344 p.

9. Shulekin V. T., Medvedev V. V. *Teoriya aviatsionnykh dvigateley*. Ch. 2. Gazodinamicheskiy raschet turboreaktivnykh i turboval'nykh dvigateley vozdushnykh sudov grazhdanskoy aviatsii. Dlya studentov vuzov (Theory of aircraft engines. Calculation of gas dynamics for turbojet and turboshaft engines of civil aircrafts. Textbook for high schools), Moscow, MGTU GA, 2008, 92 p.

10. *Stroitel'naya klimatologiya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 23-01-99*. SP 131.13330.2012* (Building climatology. The updated edition of Building regulations 23-01-99*. SP 131.13330.2012), Moscow, 2012.

11. Vasil'ev N. A. *Kryl'ya Rodiny*. 1999, no 8, pp. 13—14.

12. Vargaftik N. B. *Spravochnik po teplofizicheskim svoystvam gazov i zhidkostey* (Reference book of thermophysical properties of gases and liquids), Moscow, Nauka, 1972, 720 p.

13. Ionin A. A. *Gazosnabzhenie*: Uchebnik dlya vuzov. 4-e izd. (Gas supply: Textbook for high schools. 4th edition), Moscow, Stroyizdat, 1989, 439 p.

14. Asaturov M. L. *Zagryaznenie okruzhayushchey sredy pri aviatransportnykh protsessakh*: uchebnoe posobie (Environmental pollution in air transport operations: Educational aid), Saint-Petersburg, Universitet grazhdanskoy aviatsii, 2010, 94 p.

15. Assad M. S., Penyaz'kov O. G. *Produkty sgoraniya zhidkikh i gazoobraznykh topliv* (Combustion products of liquid and gas fuels), Minsk, Belorusskaya nauka, 2010, 305 p.

FIGURES

Fig. 1. Dependence of thermal power of an air stream on an exit at turbojet engine from temperature of atmospheric air.

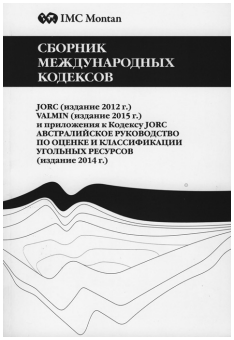
Fig. 2. The principal scheme of application of bypass turbojet engine D-36 as heat-ventilation installations, a variant with the heat exchanger: 1 — entrance part; 2 — fan; 3 — compressor; 4 — the combustion chamber; 5 — turbine; 6 — jet nozzle; 7 — heat exchanger; continuous arrows — air; dotted arrows — an air-gas mix.

TABLES

Table 1. Comparison characteristics of aviation kerosene fuels TS-1 and SUG.

Table 2. Emission of harmful substances under combustion of kerosene.

НОВИНКИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ГОРНАЯ КНИГА»



Сборник международных горных кодексов.
JORC (издание 2012 г.), VALMIN (издание 2015 г.) и приложение к кодексу JORC. Австралийское руководство по оценке и классификации угольных ресурсов (издание 2014 г.)
Год: 2017, 2-е издание, переработанное и дополненное
Страниц: 260
ISBN: 978-5-98672-470-6
UDK: 553.04
Для инженерно-технических работников горно-обогатительных и металлургических предприятий, проектных и научно-исследовательских организаций. Может быть использована в учебном процессе профильных вузов.