

УДК-629.78.01:002.004

Н. А. Тестоедов, В. В. Двирный, А. А. Носенков, М. В. Елфимова

ОБ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ СИСТЕМЕ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Рассмотрена проблема создания отечественной системы космического мониторинга чрезвычайных ситуаций с акцентом на основные ее вопросы: актуальность, требуемые ресурсы, потенциал реализации.

Ключевые слова: космический мониторинг, космический аппарат, чрезвычайная ситуация, проектирование, конструирование, производство.

Мы живем в такое время, когда каждый день средства массовой информации оповещают мировую общественность о все новых и новых чрезвычайных ситуациях (ЧС): крупных пожарах, масштабных наводнениях, разрушительных землетрясениях, тяжелых катастрофах. Категорически ухудшилась ситуация с ЧС и в России. К числу неблагоприятных регионов страны относится Красноярский край, где весьма неблагоприятная сейсмическая обстановка часто усугубляется пожарами, другими видами чрезвычайных ситуаций [1; 2].

В этой связи создание Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России) является своевременной и важной государственной мерой. Однако такие организационные меры должны, разумеется, подкрепляться наиболее современным техническим обеспечением. В мировой практике самым впечатляющим и результативным таким обеспечением является американская система космического мониторинга ЧС, услугами которой пользуется и Россия, в том числе Сибирский регион [2].

Авторы считают, что для России, имеющей огромный опыт в космическом аппаратостроении и заявляющей, даже в условиях экономического кризиса, о своих намерениях осуществлять в ближайшие годы полеты к другим планетам, необходимо иметь собственную систему космического мониторинга ЧС, а не ограничиваться лишь запусками отдельных КА и пользоваться услугами зарубежных стран. Тем более, что уже имеется сообщение прессы о преднамеренном характере многих произошедших чрезвычайных ситуаций. Следовательно, создание отечественной системы космического мониторинга (ОСКМ) относится к актуальным задачам первостепенной важности, так как она связана с обеспечением безопасности населения страны, а также с повышением оперативной готовности спасательных, пожарных и других подразделений МЧС России. Все это и определило цель статьи – изложить авторскую версию сути и проблемы создания ОСКМ чрезвычайных ситуаций в части ее ресурсного обеспечения и потенциала реализации.

Вопрос о ресурсном обеспечении процесса создания ОСКМ априорно сводится к рассмотрению финансово-экономических, проектно-конструкторских, производственно-технологических и информационных ресурсов. При этом подавляющий объем ресур-

сов требуется для работ, связанных с созданием орбитальной части (космического сегмента) ОСКМ, содержащей достаточное количество космических аппаратов (КА), а также средств наземного комплекса управления (НКУ) и приема с КА информации целевого назначения.

Для преодоления экономической проблемы этих работ целесообразно принять вариант долевого участия заинтересованных отраслей и ведомств. Ранее, кстати, уже рассматривались предложения по космическому мониторингу пожаров и земель агропромышленного комплекса [3; 4], которые при решении проблемы создания ОСКМ должны быть учтены. Следует серьезно изучить вопрос о возможности и целесообразности долевого участия зарубежных стран, подверженных воздействиям ЧС.

Проектно-конструкторские и производственно-технологические ресурсы гораздо менее критичны в рассматриваемой проблеме. Дело в том, что в основном своем объеме такими ресурсами обладает ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева (ОАО «ИСС»). Именно эти ресурсы составляют материальную основу процесса разработки и производства сложных и надежных космических комплексов [5]. Для выполнения обсуждаемого проекта ОСКМ и изготовления всех компонентов ее космической части, конечно, требуется финансирование на обычной договорной основе, но по более низкой, чем мировая, стоимости.

Информационные ресурсы (ИР) в машиностроении представляют собой знания, сведения, данные, указания, на основании которых строится организационно-интеллектуальная составляющая процесса создания заказываемых изделий во всем диапазоне их сложности, – от КА и мобильного противопожарного комплекса (МПК) до современных механических детских игрушек. Они играют важную и своеобразную роль в создании изделий машиностроения (ИМ), однако можно указать всего лишь несколько работ, например [6–9], в которых раскрывается для заинтересованных специалистов суть и определяющий потенциал ИР в промышленном производстве. В этой связи авторы считают необходимым хотя бы в сокращенном виде рассмотреть вопрос об ИР при создании КА для предлагаемой ОСКМ.

Процесс создания КА состоит из четырех этапов: выпуска директивных документов, проектирования, конструирования и изготовления. На первом этапе

должны быть определены и согласованы, с одной стороны, требования Заказчика (по срокам и этапам выполнения работ, качеству, тактико-техническим и эксплуатационным характеристикам, отчетности и т. д.) и предоставляемые им ресурсы, а с другой стороны, обязательства Исполнителя по выполнению заказа, согласие с требованиями Заказчика и ресурсообеспечение заказа. Все заложенные в директивных документах (договорах, контрактах, технических заданиях) требования, обязательства и прочие сведения, по существу, и являются ИР для последующих этапов создания КА.

Проблематика первого этапа состоит в том, что он имеет юридический статус (все взаимные претензии Заказчика и Исполнителя рассматриваются юридическими органами только на основании директивных документов), а выполняется в условиях повышенной неопределенности (предусматриваемые им работы могут осуществляться в течение нескольких лет и трудно поддаются точному прогнозу), когда достигнуть необходимую конкретику принятых важнейших документов весьма сложно. Поэтому, как правило, в каждом директивном документе следует предусматривать возможность его обоснованной и взаимосогласованной корректировки.

Проектирование является первой стадией процесса разработки КА. Обобщенная функциональная схема процесса проектирования в постадийном варианте представлена на рис. 1.

Множество $\{v_1^{(n)}, \dots, v_n^{(n)}\}$ – это все обеспечивающие материальные, экономические и человеческие факторы процесса проектирования (количество и качество персонала, оборудование и принадлежности, методология выполнения проектных работ и др.), а также исходные данные директивно-информа-

ционного характера (требования технического задания, информация об изделиях–аналогах и прототипах, патентная информация, научно-техническая информация и др.). Множество $\{r_1^{(n)}, \dots, r_k^{(n)}\}$ – выходные результаты процесса проектирования (проектная документация, математические и физические модели, часть эксплуатационной документации и др.). Множество $\{x_1^{(n)}, \dots, x_m^{(n)}\}$ – все виды управляющих воздействий (УВ) на процесс проектирования (распоряжения, приказы, сигналы управления, директивы и др.). Множество $\{y_1^{(n)}, \dots, y_l^{(n)}\}$ – разнообразная информация (доклады, донесения, контролируемые сигналы и параметры и др.), по которой можно объективно и полностью оценивать процесс проектирования.

Таким образом, процесс проектирования является системой, математическую модель которой в самом общем виде можно представить следующим образом:

$$\begin{aligned} R^{(n)}(t_i) &= f[R^{(n)}(t_0); V^{(n)}(t_i, t_0); \\ &X^{(n)}(t_i, t_0); Y^{(n)}(t_i, t_0)], \\ R^{(n)}(t_i) &\in A(t); \\ V^{(n)}(t_i) &\in B(t); \\ X^{(n)}(t_i) &\in C(t); \\ Y^{(n)}(t_i) &\in D(t); \end{aligned} \quad (1)$$

где $R^{(n)}(t_0), R^{(n)}(t_i)$ – состояние системы в начальный (t_0) и любой другой (t_i) моменты времени; $A(t), B(t), C(t), D(t)$ – некоторые замкнутые области векторного пространства состояния, возмущения, управления и контроля, лимитирующие все возможные значения соответствующих векторов $r_1^{(n)}, \dots, r_k^{(n)}, v_1^{(n)}, \dots, v_n^{(n)}, x_1^{(n)}, \dots, x_m^{(n)}, y_1^{(n)}, \dots, y_l^{(n)}$, обусловленные физическими закономерностями, в соответствии с которыми функционируют технические системы (ограничения первого рода) и ограничивают привлекаемые ресурсы (ограничения второго рода).

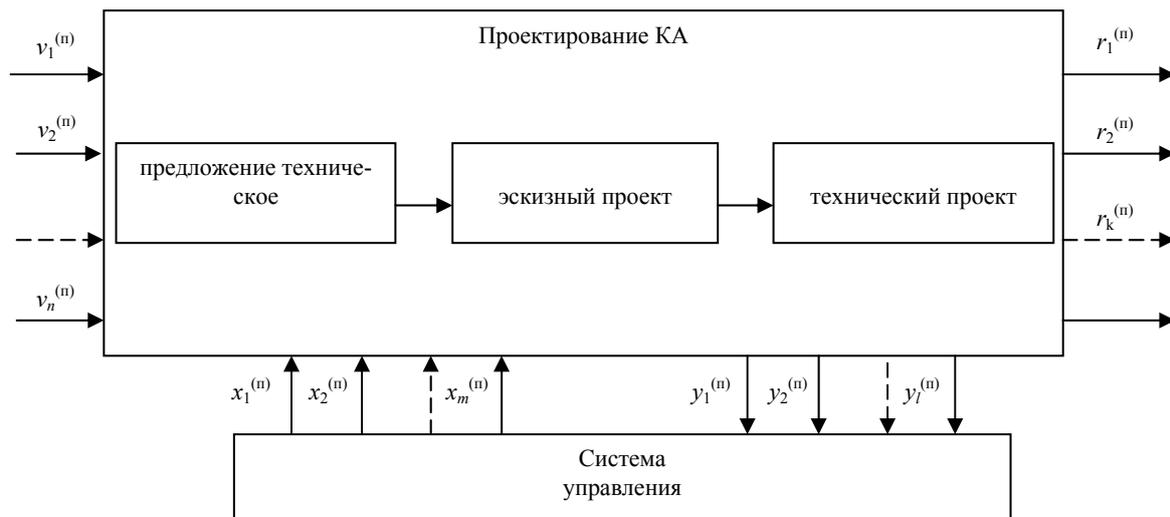


Рис. 1. Обобщенная функциональная схема процесса проектирования КА
 $\{v_1^{(n)}, \dots, v_n^{(n)}\}$ – множество входных (возмущающих) действий; $\{r_1^{(n)}, \dots, r_k^{(n)}\}$ – множество выходных переменных (переменные состояния, сигналы реакции); $\{x_1^{(n)}, \dots, x_m^{(n)}\}$ – множество управляющих воздействий (команд); $\{y_1^{(n)}, \dots, y_l^{(n)}\}$ – множество наблюдаемых переменных (контрольная информация)

Если компоненты множеств $\{v_i^{(n)}\}$, $\{r_j^{(n)}\}$, $\{x_q^{(n)}\}$, $\{y_s^{(n)}\}$ можно считать детерминированными, то имеют место многомерные векторы:

$$V^{(n)}(t) = \begin{bmatrix} v_1^{(n)}(t) \\ \vdots \\ v_n^{(n)}(t) \end{bmatrix}; \quad R^{(n)}(t) = \begin{bmatrix} r_1^{(n)}(t) \\ \vdots \\ r_k^{(n)}(t) \end{bmatrix};$$

$$X^{(n)}(t) = \begin{bmatrix} x_1^{(n)}(t) \\ \vdots \\ x_m^{(n)}(t) \end{bmatrix}; \quad Y^{(n)}(t) = \begin{bmatrix} y_1^{(n)}(t) \\ \vdots \\ y_l^{(n)}(t) \end{bmatrix}, \quad (2)$$

представляющие, соответственно, векторы-столбцы возмущения, состояния, управления и контроля, а модель (1) является детерминированной, динамической.

Если множества $\{v_i^{(n)}\}$, $\{r_j^{(n)}\}$, $\{x_q^{(n)}\}$, $\{y_s^{(n)}\}$ состоят из элементов случайного типа, то последние тоже можно представить векторами-столбцами, но эти элементы являются математическими ожиданиями соответствующих величин.

Полагая, что поведение системы $R^{(n)}(t_i)$ может быть описано системой обыкновенных дифференциальных уравнений, уравнение (1) можно привести к виду

$$\frac{dR^{(n)}}{dt} = f[R^{(n)}(t_i); V^{(n)}(t_i); X^{(n)}(t_i); Y^{(n)}(t_i)]. \quad (3)$$

Целевая функция исследуемого процесса может быть представлена как

$$G^{(n)} = \Phi[R^{(n)}(t_i); V^{(n)}(t_i); X^{(n)}(t_i); Y^{(n)}(t_i)]. \quad (4)$$

Если для простоты считать, что оптимальный процесс проектирования соответствует некоторому экстремальному значению целевой функции (4), то задачу оптимального управления процессом проектирования в наиболее простом ее виде можно сформулировать как определение оптимального вектора $X_{\text{опт}}^{(n)}(t)$, обеспечивающего экстремальное значение целевой функции $G^{(n)}$ и удовлетворяющего ограничениям (1). Для большей математической строгости необходимо,

разумеется, исследовать случай одновременного изменения векторов $R^{(n)}(t)$ и $V^{(n)}(t)$. Но такая задача весьма сложна по причине высокой размерности этих векторов их состояний.

Процесс конструирования как объект математической интерпретации и управления аналогичен процессу проектирования (рис. 2).

Технологический процесс изготовления укрупнено можно представить набором операций по изготовлению и обработке бортовых узлов и приборов, операций по изготовлению и обработке бортовых устройств и систем более высокого иерархического уровня, по экспериментальной обработке (ЭО), безопасности (в том числе пожарной) аппаратуры в составе технологического образца КА, по сборке и испытаниям пилотного образца КА. Формализованная таким образом обобщенная функциональная схема технологического процесса (ТП) изготовления представлена на рис. 3. Информационным ресурсом этого ТП являются соответствующие компоненты вектора состояния $R^{(n)}(t)$ процесса разработки, а также технологическая документация, разработанная на основании конструкторских документов и документов по технологическому обеспечению.

Поскольку все представленные выше процессы имеют одинаковую математическую трактовку и в совокупности представляют собой процесс создания КА, то можно отметить, что задачу оптимизации здесь следует решить в два этапа.

На этапе первичной оптимизации определяют идеальный вектор управления $X_{\text{ид}}(t)$, который практически не реализуется, но является тем пределом, к которому должна стремиться система управления.

На этапе вторичной оптимизации выбирают так называемый квазиоптимальный вектор управления $X_{\text{коп}}(t)$, который можно реализовать, зная вектор $X_{\text{ид}}(t)$. При этом цель задачи управления заключается в получении наиболее полноценных, исходя из содержательного уровня векторов входных воздействий (возмущения) информационных ресурсов процесса создания космического аппарата.

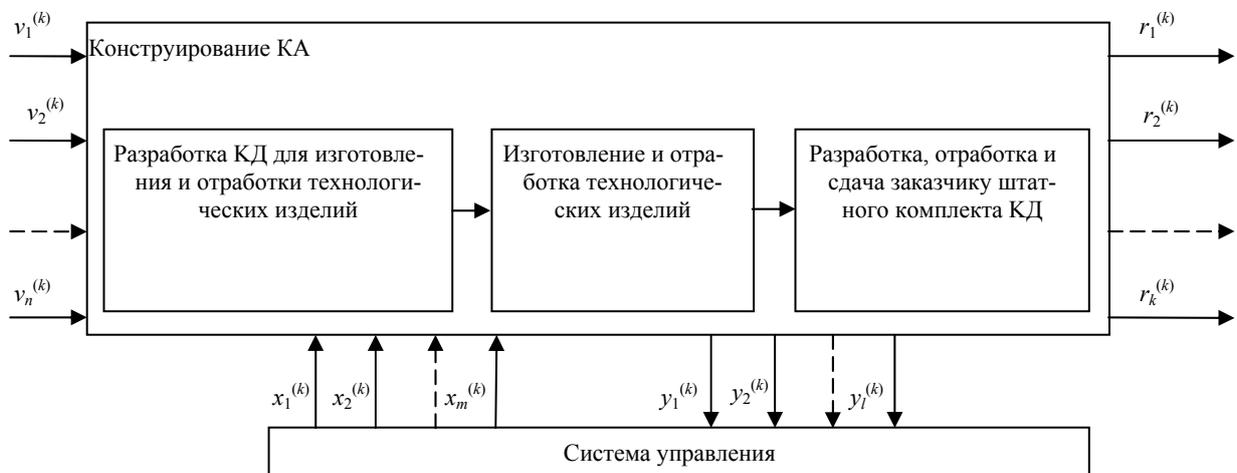


Рис. 2. Обобщенная функциональная схема процесса конструирования

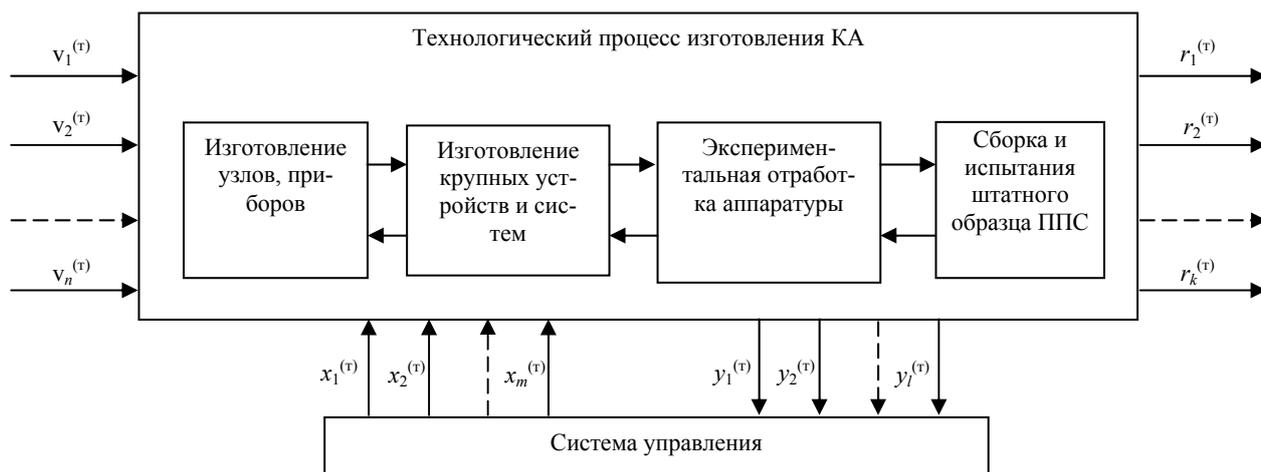


Рис. 3. Обобщенная функциональная схема технологического процесса изготовления КА

Следует при этом отметить, что в мировой практике даже удачно оптимизированные процессы создания современной техники подвергаются корректировке. Это обусловлено невозможностью математически достаточно учесть ряд воздействующих факторов. Кроме того, проблема процесса управления зависит и от сложности создаваемого изделия. Чем проще изделие, тем более строго можно математически представить процесс управления, а сама СУ по своей сути более похожа на систему автоматического управления (САУ). И, наоборот, повышение сложности создаваемого изделия приводит к более абстрактным моделям управления, а сама СУ реализуется, в лучшем случае, на уровне автоматизированной системы управления.

Более того, строго говоря, представленные зависимости (1–4) являются математической моделью того предела оптимизации, к которому в принципе необходимо стремиться создателям современных технических систем, но который становится все более недостижимым по мере роста уровня сложности последних. Так, для абсолютного большинства КА по этой причине приходится ограничиваться лишь рационализацией процесса их создания.

В заключение отметим некоторые дополнительные вопросы с целью более полного представления проблематики затронутой темы. Так, уже на начальной стадии процесса создания любого типа сложных изделий и комплексов должен быть более полно решен вопрос по обеспечению его необходимым объемом исходных ресурсов (людских, материальных, финансовых, технических, информационных). Такая работа выполняется на основании исходного директивного документа – постановления правительства Российской Федерации. А поскольку этот документ своим информационным содержанием влияет на все этапы создания заказа, то его следует считать внешним ИР.

На основании постановления головное предприятие выдает смежным предприятиям ТЗ на разработку, изготовление и поставку необходимого оборудования и финансирует эти работы. По техническому заданию выполняются (с соответствующим финансированием) и научные исследования, необходимость в

которых, как правило, возникает при открытии новых тем.

Результаты выполненных научных исследований ($V_1^{(H)}, \dots, V_4^{(H)}$) являются научно-техническими ИР, необходимыми для выполнения прежде всего проектирования. Результаты проектирования ($V_1^{(I)}, \dots, V_3^{(I)}$) представляют собой инженерные ИР, используемые в большинстве своем при конструировании. Разработанные конструкторские документы ($V_1^{(K)}, V_2^{(K)}$) являются инженерными ИР для этапов изготовления и обработки.

Важнейшим фактором, влияющим на качество создаваемых изделий, является обеспечение технической совместимости (конструктивной, технологической, размерной, энергетической, информационной, механической, противопожарной и др.) элементов их аппаратно-конструктивного построения, а также пооперационного построения производственно-технологических процессов [10].

Изложенные в статье положения и рекомендации носят формализованный характер и могут быть в той или иной мере приемлемы для любых изделий машиностроительной отрасли.

Библиографические ссылки

1. Лукина Н. В. Активные разломы зоны сочленения сибирской платформы и алтае-саянской орогенетической области. М. : О-во испытателей природы. Отд.-е геологии, 1996.
2. Мещеряков С. С., Черных С. Ю. Состояние системы мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций Сибирского региона // Мониторинг, прогнозирование и моделирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций : материалы науч.-практ. семинара. Железногорск, 2011. С. 5–14.
3. Возможное применение аэрокосмического мобильного комплекса для круглосуточного мониторинга пожаров / В. В. Двирный, М. В. Елфимова, А. С. Исакова и др. // Мониторинг, прогнозирование и моделирование опасных природных явлений и чрез-

вычайных ситуаций : материалы науч.-прак. семинара. Железногорск, 2011. С. 107–113.

4. Система дистанционного мониторинга пожаров и земель агропромышленного комплекса / Н. А. Тестодов, В. И. Лавров, В. В. Двирный и др. // Мониторинг, прогнозирование и моделирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций : материалы науч.-прак. семинара. Железногорск, 2011. С. 122–129.

5. Проектирование надежных систем связи / В. Г. Афанасьев, В. И. Верхотуров, В. А. Заславский и др. ; под ред. акад. М. Ф. Решетнева ; МГП «Раско». Томск, 1993.

6. Голенков В. К., Гаврилов А. И. Создание и использование информационных ресурсов на предприятии // НТИ. 1990. № 12. С. 22–23. Сер. 1.

7. Королева Н. А., Тютюнник В. М. Методика оценки уровня обеспечения информационной безопасности организации // НТИ. 2007. № 1. С. 15–17. Сер. 2.

8. Бессонов А. Б. Организационно-правовое обеспечение информационной безопасности организации // НТИ. 2008. № 9. С. 16–28. Сер. 1.

9. Совершенствование системы информационного обеспечения процесса создания космических аппаратов связи / Р. П. Туркенич, А. А. Носенков, В. В. Двирный, С. Е. Терпигин // Решетневские чтения : материалы 15 Междунар. науч. конф. Красноярск, 2011. Ч. 1. С. 101–102.

10. Носенков А. А. Техническая совместимость: практика, наука, проблемы : монография / Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2005.

N. A. Testodov, V. V. Dvirnyj, A. A. Nosenkov, M. V. Elfimova

ABOUT DOMESTIC SYSTEM OF SPACE MONITORING OF EMERGENCIES

The problem of development of domestic system of space monitoring of emergencies with a focus on its core issues: relevance, recourse requirements, realization potential.

Keywords: space monitoring, spacecraft, emergency, design, production.

© Тестодов Н. А., Двирный В. В., Носенков А. А., Елфимова М. В., 2012

УДК 532.526.4

М. И. Толстопятов, А. А. Зуев, А. А. Кишкин, Д. А. Жуйков, В. П. Назаров

ПРЯМОЛИНЕЙНОЕ РАВНОМЕРНОЕ ТЕЧЕНИЕ ГАЗОВ С ТЕПЛОТДАЧЕЙ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ*

Рассмотрена модель распределения температурного и динамического пограничных слоев при реализации турбулентного течения газового потока. Записано выражение для определения толщины потери энергии, получено выражение для определения локального коэффициента теплоотдачи в виде критерия Стантона. Проведен сравнительный анализ с теориями различных авторов.

Ключевые слова: турбулентное течение, пограничный слой, коэффициент теплоотдачи, теплообмен.

При проектировании энергетических установок летательных аппаратов необходимо учитывать большое число факторов, влияющих на надежность и энергоэффективность изделия. Одним из таких факторов являются тепловые потоки, образующиеся в результате теплоотдачи и трения газового потока при течении в газовых магистралях энергоустановок. Неучтенное в расчете тепло при проектировании узлов и агрегатов влияет на теплофизические свойства рабочего тела, такие как плотность и вязкость. В некоторых случаях при значительном градиенте температур возможно появление пластических деформаций в элементах конструкции. Нерасчетные величины вязкости и плотности рабочего тела могут вывести рабочие параметры за предел расчетного объема работы

установки, который для получения максимального КПД имеет довольно узкий диапазон величин.

При учете влияния тепловых потоков и теплоотдачи в настоящее время пользуются либо полуэмпирическими зависимостями, либо численными методами, реализованными в различных пакетах прикладных программ. Полуэмпирические и эмпирические зависимости для учета теплоотдачи основываются на обобщении экспериментальных исследований и не всегда могут применяться для решения широкого круга задач. Использование современных пакетов прикладных программ расширяют возможности теплового расчета, однако должно сопровождаться сложными теплофизическими экспериментами для верификации результатов численного моделирования.

*Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.132.21.1584.