

информации. Если получаемые при решении параметры выходят за реальные области своего же существования, система выдает сообщение на экран дисплея.

Разработанный программный комплекс прошел апробацию при проведении поверочных расчетов 60 различных типов отечественных и зарубежных ГТД и показал высокую надежность и эффективность.

Л и т е р а т у р а

1. Иностранные авиационные и ракетные двигатели (по данным иностранной печати).— М.: ЦИАМ, вып. 1967—1981.
2. Хаммельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. М.: Мир, 1975.

УДК 629.7.036

*С. К. Бочкарев, А. Я. Дмитриев, В. В. Кулагин, В. В. Мосоулин,
Е. Д. Стенькин, С. А. Сватенко*

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕКОТОРЫХ МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТРДД С РЕЗУЛЬТАТАМИ ИСПЫТАНИЙ

Условные обозначения

- n — частота вращения ротора;
- P — тяга;
- P_k^* — полное давление воздуха за компрессором;
- T_k^* — температура торможения воздуха за компрессором;
- T_T^* — температура торможения газа за турбиной;
- π_v^* — степень повышения полного давления вентилятором;
- π_k^* — степень повышения полного давления компрессором;
- η — к. п. д.;
- $\sigma_{КС}$ — коэффициент восстановления полного давления в камере сгорания;
- $G_{вд}$ — массовый расход воздуха через двигатель;
- $\sigma_{П}$ — коэффициент восстановления полного давления в наружном контуре;
- $\nu_{отб}$ — коэффициент, учитывающий отбор воздуха из-за компрессора на охлаждение турбины;
- A_T — пропускная способность турбины.

И н д е к с ы

- пр — приведенные параметры;
- НД — низкое давление;
- ВД — высокое давление;
- \wedge — знак над параметром означает его оценку.

Повышение качества и надежности авиационных газотурбинных двигателей на всех этапах жизненного цикла, увеличение

эффективности их производства и эксплуатации, сокращение сроков доводки требуют объективной и всесторонней оценки термогазодинамического состояния отдельных узлов ГТД. Наиболее перспективными методами решения указанной задачи, получающими в настоящее время все более широкое распространение, являются методы, основанные на идентификации математической модели ГТД с результатами испытаний.

Идентификация математической модели заключается в согласовании расчетных и измеренных значений признаков состояния двигателя за счет уточнения некоторых, наименее достоверных, параметров состояния. Здесь признаками состояния двигателя называются его параметры, измеряемые при проведении испытаний (температура, давление в различных сечениях, тяга, расход топлива, частоты вращения роторов и т. д.), а параметрами состояния — к. п. д. узлов, коэффициенты потерь, площади характерных проходных сечений и другие параметры характеристик узлов.

Обычно для идентификации используется линеаризованная математическая модель двигателя

$$H\delta\Theta_n + \Delta_k = \delta P_k, \quad (1)$$

где $\delta\Theta_n$ — n -мерный вектор относительных отклонений параметров состояния от расчетных значений; H — матрица ($k \times n$) коэффициентов влияния; δP_k — k -мерный вектор относительных отклонений признаков состояния, определенных по результатам испытания двигателя, от расчетных значений; Δ_k — k -мерный вектор относительных погрешностей определения признаков состояния по результатам испытания двигателя.

Соотношение (1) справедливо с точностью до погрешностей математической модели. Наиболее широко в настоящее время для параметрической идентификации ГТД применяются метод наименьших квадратов (МНК) [1] и метод уравнивания (МУР) [2]. Целесообразность применения того или иного метода определяется конкретными особенностями решаемых задач.

Так в случае, когда число измеряемых признаков состояния двигателя меньше количества уточняемых параметров состояния, для идентификации математической модели двигателя используется МУР.

В этом случае система уравнений (1) решается при условии

$$\sum_{i=1}^n \gamma_i \delta\Theta_i^2 + \sum_{l=1}^k \gamma_l \Delta_l^2 \rightarrow \min. \quad (2)$$

Здесь γ_i и γ_l — коэффициенты веса, определяемые по формулам:

$$\gamma_i = \frac{1}{\sigma^2(\delta\Theta_i)}, \quad \gamma_l = \frac{1}{\sigma^2(\delta P_l)},$$

где $\sigma^2(\delta\Theta_i)$ — дисперсия величины $\delta\Theta_i$; $\sigma^2(\delta P_I)$ — дисперсия погрешности определения признака состояния δP_I .

Достоинством МУР является то, что с его помощью можно выполнять идентификацию математической модели двигателя в условиях ограниченной информации ($k < n$). Недостаток этого метода заключается в том, что для его применения необходимо располагать значениями $\sigma(\delta\Theta_i)$, $i = \overline{1, n}$. Определение достоверных значений $\sigma(\delta\Theta_i)$ является достаточно сложной задачей.

В случае, когда число измеряемых признаков состояния двигателя больше количества уточняемых параметров состояния, для идентификации математической модели двигателя используется МНК. Этот метод предполагает решение системы уравнений (1) при условии

$$\sum_{I=1}^k \gamma_I \Delta_I^2 \rightarrow \min. \quad (3)$$

Применение МНК для идентификации математической модели не требует знания величин $\sigma(\delta\Theta_i)$. Однако его использование возможно лишь при наличии избыточности информации ($k > n$). Поэтому в качестве параметров состояния в данном случае принимаются обычно лишь наименее достоверные, а при испытании двигателя измеряется наибольшее количество признаков состояния на нескольких режимах.

Наиболее перспективно применение методов идентификации математической модели в системе автоматизированной обработки результатов испытаний ГТД на ЭВМ. Для расширения возможностей программного модуля идентификации целесообразно предусмотреть в нем применение обоих рассмотренных методов. Однако непосредственное объединение известных алгоритмов идентификации математической модели с помощью МУР и МНК затруднено в связи с применением в них различных вычислительных процедур. Поэтому в данной работе предлагается при реализации этих методов в программном модуле идентификации математической модели использовать единый методический подход.

Задачу идентификации математической модели с помощью МУР можно свести к задаче идентификации, решаемой МНК. Для этого в систему уравнений (1) вводятся дополнительные уравнения

$$\delta\Theta_i + \Delta_i = 0; \quad i = \overline{1, n}, \quad (4)$$

накладываемые ограничения на отклонения параметров состояния, а условие (3) преобразуется к виду

$$\sum_{i=1}^n \gamma_i \Delta_i^2 + \sum_{I=1}^k \gamma_I \Delta_I^2 \rightarrow \min. \quad (5)$$

Решение задачи, удовлетворяющее соотношениям (1), (4) и (5), эквивалентно решению, удовлетворяющему соотношениям (1) и (2). Это подтверждено результатами идентификации математических моделей ТВД и ТРДД с использованием уравнений (1), (2) и уравнений (1), (4), (5) методом оптимизации.

Так как количество уравнений $(k+n)$ в объединенной системе (1), (4) всегда больше количества неизвестных n , то ее решение при условии (5) может осуществляться с помощью МНК.

Таким образом, идентификацию математической модели ГТД с помощью МУР и МНК можно проводить по единой методике, основанной на использовании алгоритмов МНК.

Разработана универсальная методика идентификации математической модели двигателя. Она при условии (5) основана на решении системы уравнений

$$\sum_{i=1}^n \frac{\delta P_I}{\delta \theta_i} \delta \theta_i + \Delta_I = \delta P_I, \quad I = \overline{1, k}; \quad (6)$$

$$\delta \theta_i + \Delta_i = \delta \theta_i^0, \quad i = \overline{1, n}, \quad (7)$$

где $\delta \theta_i^0$ — априорная оценка величины $\delta \theta_i$.

Решение осуществляется с помощью МНК при произвольном соотношении величин n и k . При $\delta \theta_i^0 = 0$ решение задачи соответствует результатам идентификации математической модели с помощью МУР. При вычеркивании уравнений (7) решение возможно, если $n < k$. В этом случае оно соответствует результатам идентификации МНК в обычной постановке.

Указанная методика решения задачи идентификации математической модели с помощью МУР и МНК реализована в программном модуле на алгоритмическом языке ФОРТРАН-4.

Разработанная универсальная программа позволяет следующее:

а) варьировать перечень идентифицируемых параметров состояния двигателя и используемых уравнений. Это осуществляется вычеркиванием соответствующих столбцов и строк введенной матрицы согласно специальному коду;

б) вводить в диалоговом режиме дополнительную информацию о предполагаемых значениях идентифицируемых величин. Для этого в правую часть уравнений (7) вносятся нужные величины, а значимость этих уравнений учитывается соответствующими величинами коэффициентов веса γ_i в целевой функции (5). Диалоговый режим управления процессом идентификации осуществляется в среде ДООС ЕС средствами алгоритмического языка ФОРТРАН-4;

в) рассчитывать погрешности и ковариации получаемых оценок;

г) вычислять величины определителя, значения собственных чисел λ , отношения $\lambda_{\max}/\lambda_{\min}$ и другие нормы матрицы нормальных уравнений;

д) моделировать различные варианты отклонений параметров состояния и измеренных признаков состояния двигателя при различных законах распределения погрешностей измерения.

Указанная универсальная программа была использована для оценки эффективности различных методов идентификации математической модели ТРДД НК-86. При этом в качестве параметров состояния были приняты следующие величины, характеризующие работу узлов:

$G_{в \Sigma пр}$, π_v^* , γ_v^* , $\gamma_{к нд}^*$, $\gamma_{к вд}^*$, $\sigma_{кс}$, $A_{т вд}$, $\gamma_{т вд}^*$, $A_{т нд}$, $\gamma_{т нд}^*$, $\sigma_{п1}$, $\gamma_{отб}$.

Признаками состояния на заданном режиме работы двигателя $n_{нд} = \text{const}$ были приняты параметры, измеряемые согласно штатной схеме препарирования: P , $n_{вд}$, $G_{т-p_k^*}$, $T_{к}^*$, $T_{т}^*$. Погрешности определения признаков состояния соответствовали следующим величинам среднеквадратичных отклонений (СКО):

$$\sigma(\delta P) = 0,17\%; \quad \sigma(\delta n_{вд}) = 0,10\%; \quad \sigma(\delta G_{т}) = 0,13\%; \\ \sigma(\delta P_k^*) = 0,09\%; \quad \sigma(\delta T_k^*) = 0,37\%; \quad \sigma(\delta T_t^*) = 0,43\%.$$

Исследование эффективности идентификации математической модели ТРДД НК-86 с помощью МУР проводилось в САУ отдельно на трех режимах работы двигателя: $n_{ндпр} = 3600$ об/мин; $n_{ндпр} = 5200$ об/мин; $n_{ндпр} = 5600$ об/мин.

Величины СКО параметров состояния ТРДД НК-86, необходимые для применения МУР, принимались равными следующим значениям:

$$\sigma(\delta G_{в \Sigma пр}) = 1,0\%; \quad \sigma(\delta \pi_v^*) = 1,0\%; \quad \sigma(\delta \gamma_v^*) = 1,7\%; \quad \sigma(\delta \gamma_{к нд}^*) = 1,0\%; \\ \sigma(\delta \gamma_{к вд}^*) = 1,0\%; \quad \sigma(\delta \sigma_{кс}) = 0,3\%; \quad \sigma(\delta A_{т вд}) = 0,2\%; \quad \sigma(\delta \gamma_{т вд}^*) = 0,5\%; \\ \sigma(\delta A_{т нд}) = 0,2\%; \quad \sigma(\delta \gamma_{т нд}^*) = 0,5\%; \quad \sigma(\delta \sigma_{п1}) = 0,3\%; \quad \sigma(\delta \gamma_{отб}) = 0,7\%.$$

Коэффициенты влияния, используемые в линеаризованной математической модели, определялись с помощью программы расчета высотно-скоростных характеристик ТРДД НК-86.

По указанным исходным данным с помощью универсальной программы идентификации математической модели были определены числовые характеристики оценок параметров состояния ТРДД НК-86, получаемых при использовании МУР. В табл. 1 даны величины $\hat{\sigma}(\delta \Theta_i)$ ТРДД НК-86, а в табл. 2 величины отношений $\hat{\sigma}(\delta \Theta_i) / \sigma(\delta \Theta_i)$, характеризующие степень уменьшения априорной неопределенности величины $\delta \Theta_i$ после проведения идентификации математической модели.

Анализ данных, приведенных в табл. 1, показывает, что погрешности оценок $\delta G_{в \Sigma пр}$, $\delta \pi_v^*$, $\delta \eta_{к}^*$ вд существенно зависят от

режима работы двигателя. Наиболее точно величины $\delta G_{в \Sigma пр}$, $\delta \eta_{к нд}$ определяются при $n_{нд пр} = 5600$ об/мин, а величина $\delta \pi_{в}^*$ — при $n_{нд пр} = 3600$ об/мин.

Из табл. 2 видно, что применение МУР позволяет наиболее значительно уменьшить априорную неопределенность величин $G_{в \Sigma пр}$, $\delta \eta_{к нд}^*$ (при $n_{нд пр} = 5600$ об/мин), $\delta \pi_{в}^*$ (при $n_{нд пр} = 3600$ об/мин), а также $\delta v_{отб}$, $\delta \eta_{к вд}$ (на всех режимах). Значение остальных параметров состояния при измерении вышеперечисленных параметров двигателя применение МУР практически не позволяет уточнить.

Как было указано, применение МНК для идентификации математической модели возможно в том случае, если число измеряемых признаков состояния превышает количество уточняемых параметров состояния. Из приведенного выше перечня параметров и признаков состояния ТРДД НК-86 видно, что в рассматриваемом случае это условие не выполняется. Поэтому исследование эффективности применения МНК для оценки параметров состояния ТРДД НК-86 осуществлялось с использованием математической модели двигателя, связывающей отклонения указанных параметров и признаков состояния на шести режимах работы двигателя: $n_{нд пр} = 3600$ об/мин; $n_{нд пр} = 4400$ об/мин; $n_{нд пр} = 4800$ об/мин; $n_{нд пр} = 5200$ об/мин; $n_{нд пр} = 5400$ об/мин; $n_{нд пр} = 5600$ об/мин.

СКО погрешностей оценок отклонений параметров состояния ТРДД НК-86, получаемых с помощью МНК, принимаются следующими:

$$\sigma(\delta \hat{G}_{в \Sigma пр}) = 0,47\%; \quad \sigma(\delta \hat{\pi}_{в}^*) = 3,11\%; \quad \sigma(\delta \hat{\gamma}_{в}^*) = 9,22\%;$$

$$\sigma(\delta \hat{\gamma}_{к нд}^*) = 0,87\%;$$

$$\sigma(\delta \hat{\gamma}_{к вд}^*) = 0,99\%; \quad \sigma(\delta \hat{\sigma}_{к с}) = 8,89\%; \quad \sigma(\delta \hat{A}_{т вд}) = 18,17\%;$$

$$\sigma(\delta \hat{\gamma}_{т вд}^*) = 2,51\%;$$

$$\sigma(\delta \hat{A}_{т нд}) = 5,74\%; \quad \sigma(\delta \hat{\gamma}_{т нд}^*) = 8,12\%; \quad \sigma(\hat{\sigma}_{п}) = 3,82\%;$$

$$\sigma(\delta \hat{v}_{отб}) = 4,8\%.$$

Из представленных данных следует, что применение МНК для идентификации математической модели ТРДД НК-86 позволяет с удовлетворительной точностью оценивать лишь величины $\delta G_{в \Sigma пр}$, $\delta \eta_{к нд}^*$ и $\delta \eta_{к вд}$. Отклонения других параметров состояния с помощью МНК в указанных выше условиях достоверно определить невозможно в связи с большими погрешностями получаемых оценок, несмотря на небольшие случайные ошибки определения признаков состояния, что свидетельствует о неустойчивости решений поставленной задачи по отношению к по-

Значения средних квадратических погрешностей оценок параметров состояния $\hat{\sigma}(\delta\Theta_i)$ ТРДД НК-86, полученных с помощью МУР (в %)

$n_{\text{НД пр}}$	$\delta G_{\text{вз пр}}$	$\delta \pi_{\text{в}}^*$	$\delta \gamma_{\text{в}}^*$	$\delta \gamma_{\text{к НД}}^*$	$\delta \gamma_{\text{к ВД}}^*$	$\delta \sigma_{\text{КС}}$	$\delta A_{\text{т ВД}}$	$\delta \gamma_{\text{т ВД}}^*$	$\delta A_{\text{т НД}}$	$\delta \gamma_{\text{т НД}}^*$	$\delta \sigma_{\text{II}}$	$\delta \gamma_{\text{отб}}$
3600 об/мин	0,97	0,30	1,30	0,74	0,60	0,29	0,20	0,44	0,20	0,47	0,29	0,15
5200 об/мин	0,56	0,82	1,28	0,59	0,62	0,29	0,20	0,46	0,20	0,46	0,32	0,14
5600 об/мин	0,32	0,95	1,25	0,54	0,62	0,29	0,20	0,46	0,20	0,45	0,32	0,14

Значения величин $\hat{\sigma}(\delta\Theta_i)/\sigma(\delta\Theta_i)$ для оценок параметров состояния ТРДД НК-86, полученных с помощью МУР

$n_{\text{НД пр}}$	$\delta G_{\text{вз пр}}$	$\delta \pi_{\text{в}}^*$	$\delta \gamma_{\text{в}}^*$	$\delta \gamma_{\text{к НД}}^*$	$\delta \gamma_{\text{к ВД}}^*$	$\delta \sigma_{\text{КС}}$	$\delta A_{\text{т ВД}}$	$\delta \gamma_{\text{т ВД}}^*$	$\delta A_{\text{т НД}}$	$\delta \gamma_{\text{т НД}}^*$	$\delta \sigma_{\text{II}}$	$\delta \gamma_{\text{отб}}$
3600 об/мин	0,97	0,30	0,78	0,74	0,60	0,88	0,99	0,91	0,99	0,94	0,88	0,22
5200 об/мин	0,56	0,82	0,77	0,59	0,62	0,88	0,99	0,91	0,99	0,92	0,95	0,21
5600 об/мин	0,32	0,95	0,75	0,54	0,62	0,88	0,99	0,92	0,99	0,91	0,95	0,21

грешностям исходных данных. Данный вывод является общим [3], мало зависящим от количества традиционно задаваемых режимов. Неустойчивость решений является признаком некорректно поставленных задач. Для повышения устойчивости решений можно использовать дополнительную информацию о возможных результатах решений [4].

При одном из способов учета дополнительной информации в подобных задачах решение находится минимизацией регуляризирующего функционала

$$\Phi_{\alpha}(\delta\Theta_n) = \alpha \|\delta\Theta_n - \delta\Theta_n^0\| + \|H\delta\Theta_n - \delta P_k\|,$$

где α —параметр регуляризации; $\delta\Theta_n^0$ —априорная оценка вектора $\delta\Theta_n$; $\|\cdot\|$ — норма, выбираемая в соответствии с особенностями постановки задачи.

Для евклидовой нормы регуляризирующий функционал можно представить в виде

$$\Phi_{\alpha}(\delta\Theta_n) = \alpha \sum_{i=1}^n \gamma_i (\delta\Theta_i - \delta\Theta_i^0)^2 + \sum_{I=1}^k \gamma_I \left(\frac{\delta P_I}{\delta \Theta_i} \delta\Theta_i - \delta P_I \right)^2$$

или с учетом уравнений (6) и (7)

$$\Phi_{\alpha}(\delta\Theta_n) = \alpha \sum_{i=1}^n \gamma_i \Delta_i^2 + \sum_{I=1}^k \gamma_I \Delta_I^2. \quad (8)$$

Из анализа выражения (8) и уравнений (6), (7) и (5) следует, что результаты, получаемые минимизацией регуляризирующего функционала (8) при $\alpha=1$, соответствуют решению систем уравнений (6) и (7) МНК. То есть введение в систему, решаемую МНК, условных уравнений (7) позволяет регуляризовать решение. Регуляризация осуществляется за счет использования дополнительной информации, заключенной в значениях: $\delta\Theta_i^0$ и $\sigma(\delta\Theta_i)$, $i=1, n$.

Разработанная универсальная программа идентификации дает возможность решать задачу при произвольном значении параметра регуляризации α . Варьируя α , можно изменять относительный «вес» используемой дополнительной информации.

Исследование эффективности регуляризации решений задачи идентификации математической модели с помощью МНК проводилось на основе анализа результатов статистических испытаний ТРДД НК-86. При этом рассматривались случаи, когда от расчетного значения отклоняется лишь один параметр состояния.

Статистические испытания проводились на ЭВМ следующим образом. По задаваемым отклонениям параметров состояния $\delta\Theta_{i \text{ зад}}$ и разыгрываемым случайным погрешностям признаков состояния Δ_I , $I=1, k$ с помощью математической модели двигателя (1) рассчитывались отклонения признаков состояния. Отклонения параметров состояния варьировались в диапазоне $\delta\Theta_{i \text{ зад}}=1-6\%$. Математическая модель ТРДД НК-86 содержа-

ла 36 уравнений, связывающих отклонения 12 параметров состояния с отклонениями шести признаков состояния на шести режимах в САУ.

По полученным значениям отклонений признаков состояния с помощью универсальной программы идентификации математической модели определялись оценки величин параметров состояния и дисперсии их погрешностей. Дополнительная информация о возможных значениях параметров состояния задавалась в виде значений $\delta\Theta_i^0, \sigma(\delta\Theta_i), i = \overline{1, n}$.

Регуляризация решений задачи осуществлялась при использовании нескольких вариантов дополнительной информации.

В первом варианте предполагалось, что известны диапазоны возможных изменений параметров состояния: $\Delta(\delta\Theta_i) \approx 3 \sigma(\delta\Theta_i), i = \overline{1, n}$.

Второй вариант соответствовал случаю, когда известен параметр состояния, величина которого может отличаться от расчетного значения, и диапазон его возможного отклонения. При этом допускалось, что остальные параметры состояния также могут отклоняться от расчетных значений, но на сравнительно малую величину.

В третьем варианте предполагалось, что известен не только параметр состояния, величина которого может отличаться от расчетного значения, и диапазон его возможного отклонения, но и существует его априорная оценка, отличная от нуля (в данном случае считалось, что эта оценка совпадает с действительной величиной отклонения параметра состояния). При этом допускалось, что остальные параметры состояния также могут несколько отличаться от расчетных значений.

Анализ полученных результатов показал следующее.

Использование первого варианта дополнительной информации при идентификации математической модели ТРДД НК-86 позволяет получать наиболее достоверные оценки $\delta G_{вз пр}, \delta \eta_{в*}, \delta \sigma_{КС}, \delta \sigma_{П}, \delta A_{Т вД}, \delta A_{Т нД}, \delta v_{отб}$. Погрешности оценок отклонений указанных параметров, вычисленные по формуле $\Delta(\delta\Theta_i) = \pm \sigma(\delta\Theta_i) \cdot u_{0,95}$, где $u_{0,95}$ — квантиль нормального распределения при доверительной вероятности 0,95, равны $\pm (0,2-0,4)\%$. Оценки отклонений остальных параметров состояния имеют существенно большие погрешности и составляют $\pm (0,8-1,6)\%$.

Второй и третий варианты дополнительной информации позволяют существенно снизить погрешности оценок всех параметров состояния. В этом случае погрешности составляют $\pm 0,7\%$ для оценок $\delta \eta_{в*}$ и $\pm (0,1-0,4)\%$ для оценок отклонений остальных параметров состояния.

Из сравнения данных, полученных при использовании двух последних вариантов дополнительной информации, следует, что задание априорной оценки $\delta\Theta_j^0 = \delta\Theta_j^0_{зад}$ не приводит к заметно-

му уточнению результатов идентификации по сравнению с более простым вариантом априорной оценки $\delta\Theta_j^0=0$.

Решающее значение для уточнения результатов идентификации имеет дополнительная информация о том, отклонение каких именно параметров состояния явилось причиной полученных отклонений признаков состояния.

Таким образом, проведенное исследование показало, что из всех рассмотренных методов идентификации математической модели наибольшую точность оценки параметров состояния ТРДД НК-86 по результатам испытаний при штатном препарировании обеспечивает применение МНК с регуляризацией решения за счет использования дополнительной информации о возможных значениях идентифицируемых параметров состояния.

Л и т е р а т у р а

1. *Тунаков А. П.* Методы оптимизации при доводке и проектировании газотурбинных двигателей. М.: Машиностроение, 1979.
2. *Боровик В. О., Таран Е. М., Клинский Б. М.* Эффективность согласования математической модели ГТД с результатами испытаний.— В кн.: Некоторые вопросы расчета и экспериментального исследования высотно-скоростных характеристик ГТД /Тр. ЦИАМ, № 747. М., 1977, вып. 5.
3. *Симбирский Д. Ф., Потемкин В. А.* Методы параметрической идентификации газотурбинных двигателей.— В кн.: Методы и средства машинной диагностики ГТД и их элементов. Тез. докл. Всесоюзной науч. конф. Харьков, 1980.
4. *Калиткин Н. Н.* Численные методы. М.: Наука, 1978.

УДК 621.45 : 629

Н. М. Боргест, А. А. Диденко, А. Б. Иванов

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СХЕМЫ ТРДДФ НА ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ЕГО РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА В СИСТЕМЕ СВЕРХЗВУКОВОГО ТРАНСПОРТНОГО САМОЛЕТА

В настоящее время в качестве альтернативной силовой установки (СУ) для сверхзвукового транспортного самолета (СТС) рассматриваются различные схемы ТРД. Это одноконтурные и двухконтурные ТРД с форсажными устройствами и без них, ТРД с перепуском воздуха из-за компрессора и наиболее перспективные схемы ТРДД — двигатели с изменяемым рабочим процессом. В статье рассматриваются наиболее распространенные ТРД и ТРДД: с общей форсажной камерой; рабочий процесс которых характеризуется, как известно, следующими параметрами: температурой газа в основной и форсажной камерах