

Мамедов Б. Ш.,
Штанько П. К.

РАСЧЕТ СТЕПЕНИ ПОВЫШЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ОСЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ ВОЗДУШНО-РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В работе доказано, что существующее в современной теории ВРД мнение о том, что в зоне Н-В₂ внешняя работа от турбины (двигателя) к газовому потоку не подводится, а сжатие газового потока до максимальной P_k^ в зоне В₂-К осуществляется только диффузорными межлопаточными каналами рабочих колес компрессоров низкого, среднего и высокого давления (КНД, КСД, КВД), ошибочно и объясняется тем, что в КНД, КСД, КВД не существует диффузорных каналов, а существуют только конфузорные каналы.*

Ключевые слова: кинетическая и потенциальная энергия, сила инерции, осевой компрессор.

1. Введение

Современная теория воздушно-реактивных двигателей делится на две части: экспериментальную и теоретическую [1]. Экспериментальная часть — это основа, на которую необходимо опираться при определенных теоретических выводах. Теоретической части в современной теории воздушно-реактивных двигателей по сути нет, поскольку все ее фундаментальные основы ошибочны. К ошибочным фундаментальным основам современной теории воздушно-реактивных двигателей относятся:

1. Термодинамический цикл турбореактивных двигателей в координатах P-V, T-S, [2, 3].

2. Формула тяги и полетного (тягового) КПД турбореактивных двигателей [3, 4].

3. Теорема о подъемной силе продуваемого профиля [3].

4. Неправильное понимание и применение уравнения Эйлера [3].

Отсутствие правильной теории воздушно-реактивных двигателей привело к ошибочному описанию принципа работы турбореактивных двигателей (ТРД) [5, 6], и целого ряда узловых физических процессов, имеющих место при работе ТРД, например, в современной теории воздушно-реактивных двигателей ошибочно считается, что в зоне Н-В₂ внешняя работа от турбины (двигателя) к газовому потоку не подводится, а сжатие газового потока до максимальной P_k^* в зоне В₂-К осуществляется только диффузорными (расширяющимися) межлопаточными каналами РК КНД, КСД, КВД с подводом внешней работы от турбины (двигателя) к КНД, КСД, КВД сзади [1].

С позиции уже разработанной «Единой теории двигателей на непрерывных потоках» такое мнение считается неточным, являющимся сильнейшим тормозом на пути технического прогресса в области авиадвигателестроения, что и обосновывает актуальность проведенного исследования.

2. Анализ литературных данных

Ошибочность всех фундаментальных основ современной теории ВРД (термодинамический цикл ВРД

в координатах P-V, T-S, формулы тяги и полетного (тягового) КПД, теорема о подъемной силе продуваемого профиля, понимание и применение уравнения Эйлера) основывается на ошибочных разработках профессора Н. Е. Жуковского и академика Б. С. Стечкина.

В работе профессора Н. Е. Жуковского [7] реализована его ошибочная идея о том, что вихрь (смерч, торнадо) генерируется вокруг продуваемого профиля. Профессор Н. Е. Жуковский не мог понять, что там, где генерируется вихрь, генерируется катастрофа, поскольку вихрь (смерч, торнадо), как природное физическое явление, обладает огромной разрушительной силой. Да, вихрь существует, но генерируется он только по спинкам продуваемых профилей, может сойти с продуваемого профиля, быть подхваченным набегающим потоком, например, с крыла самолета при нерасчетных углах атаки, и следовать за ним многокилометровым вращающимся шлейфом.

Профессор Н. Е. Жуковский не мог понять другой правильной идеи о том, что любой продуваемый профиль просто генерирует тягу, которая, как вектор, просто раскладывается на горизонтальную и вертикальную (подъемную силу) составляющие [3]. Критика теоремы о подъемной силе продуваемого профиля, выведенной профессором Н. Е. Жуковским приводится в его работе [3].

Академик Б. С. Стечкин в работе [8] привел ошибочный вывод формулы тяги и полетного (тягового) КПД ВРД. Ошибки академика Б. С. Стечкина заключались в том, что он не дал классификацию и характеристику внешних сил, действующих на рассматриваемый участок трубки, ошибся с применением уравнения Эйлера, не учел генерирование при $V_n > 0$ в зоне Н-d контрольного контура параболоидной зоны заторможенного потока [3, рис. 2.1, рис. 8.1], ввел интеграл по замкнутому контуру.

В реальных формула тяги ВРД академика Б. С. Стечкина, $R = G_T \cdot C_c$, завывает тягу любого ВРД более, чем на 320 %. За последние 86 лет эта формула продержалась только благодаря чистой фальсификации технических данных ВРД конструкторами, которые для преподавателей авиационных вузов выдают заниженные данные по расходу газового потока по контурам ТРДД,

например, с тем, чтобы произведение $G_T \cdot C_c$ было бы точно равно тяге по соответствующему контуру. Например, согласно чертежей ЗМКБ «Ивченко-Прогресс» под названием «К тепловому расчету двигателя Д-436ТП» по первому контуру выдается расход газового потока 58 кг/с (вместо реальных 66 кг/с), а по второму контуру расход выдается 105 кг/с (вместо реальных 325 кг/с), что и является основным фактором, способствующим задержке технического прогресса в области авиадвигателестроения более, чем на 86 лет.

В работе [9] авторами Ю. Н. Нечаевым и Р. М. Федоровым заложены те же самые ошибки, допущенные академиком Б. С. Стечкиным, приведшие к разработке ошибочных фундаментальных основ современной теории ВРД, неправильному описанию физических процессов, имеющих место при работе ВРД, задержке технического прогресса в области авиадвигателестроения более, чем на 86 лет.

В работах [10, 11] приводится расчет осевых компрессоров от спецификации до окончательного варианта с помощью формул и уравнений газовой динамики, что является неточным, требующим доводки компрессоров КНД, КСД, КВД не только в стендовых условиях, но и в процессе эксплуатации, примером может служить, например, ТРДД Д-18, который вместо расчетного $P_k^* = 50$ имеет реальную $P_k^* = 25$. Это объясняется тем, что теоретические и физические основы процесса сжатия газового потока до максимальной P_k^* в компрессорах ВРД в современной теории ВРД описаны ошибочно, поскольку основной упор делается на диффузорность, которая в межлопаточных каналах РК КНД, КСД, КВД полностью отсутствует.

Анализ литературных данных показывает, что у нас существует не просто «ниша», не занятая другими учеными, у нас существует восьмьюктантовое пространство по Гаспару монжу со многими степенями свободы, т. е. у нас существует разработка принципиально новой, прогрессивной теории ВРД под названием «Единая теория двигателей на непрерывных потоках» со многими научными направлениями.

3. Объект, цель и задачи исследования

Объект исследования — «Единая теорией движителей на непрерывных потоках».

Перед «Единой теорией движителей на непрерывных потоках», с целью развития теоретической базы для разработки принципиально новых направлений технического прогресса в области авиадвигателестроения, стояли и решены следующие задачи исследования:

На основании того, что в КНД, КСД, КВД не существует диффузорных (расширяющихся) межлопаточных каналов РК, а существуют только конфузурные (сужающиеся) каналы по всей длине газодинамического тракта, показать и доказать, что во всех компрессорах ВРД сжатие газового потока до максимальной P_k^* осуществляется только инерционными силами, которые генерируются при торможении газового потока кинематическим уменьшением осевой скорости потока от ступени к ступени, скачками уплотнения газового потока по спинкам продуваемых лопаточных профилей и лобовым сопротивлением последних. Т. е. в компрессорах ВРД газовый поток сжимается только силами инерции, аналогично как в транспортном средстве, совершающем

экстренное торможение, силами инерции сжимается людской поток до определенной P_k^* , разница состоит только в том, что в транспортном средстве ускорение торможения, регламентирующее силу инерции, составляет 20–25 м/с², а в компрессорах ВРД это ускорение торможения составляет 8000 м/с² и более.

Доказательство будет проводиться тремя путями:

1. Кинематическим анализом характера изменения работы первичных движущих сил в зонах Н-В₂ и В₂-К.
2. Генерированием дополнительного крутящего момента на лопатках рабочих колес осевых компрессоров КНД, КСД, КВД энергией продуваемого газового потока.
3. Расчетом степени повышения давления компрессоров КНД, КСД, КВД через силу инерции, генерируемую при торможении потока кинематическим уменьшением осевой скорости потока от ступени к ступени, скачками уплотнения газового потока по спинкам продуваемых лопаточных профилей и лобовым сопротивлением последних.

4. Энергетическая характеристика зон Н-В₂ и В₂-К контрольного контура Н-Н₁ воздушно-реактивных двигателей

На рис. 1, а представлен контрольный контур Н-Н₁ воздушно-реактивного двигателя на расчетном режиме при $V_n = 0$ для проведения кинематического анализа характера изменения статических давлений, осевых скоростей, рис. 1, б, ускорений (вторичных движущих динамических инерционных сил), рис. 1, в, первичных движущих сил от изменения статических давлений газового потока в пределах контрольного контура Н-Н₁, рис. 1, г.

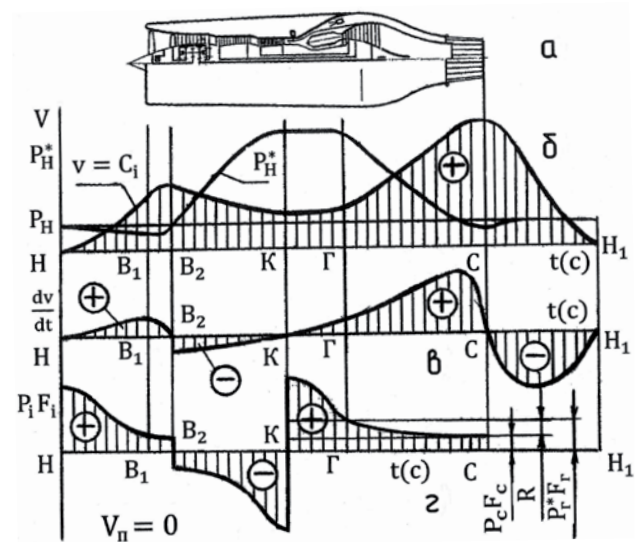


Рис. 1. Кинематический и силовой анализ движения газового потока в пределах контрольного контура Н-Н₁ турбореактивного двухконтурного двигателя: а — контрольный контур Н-Н₁ турбореактивного двухконтурного двигателя; б — кинематический анализ характера изменений статического давления, осевых скоростей газового потока в пределах контрольного контура Н-Н₁; в — кинематический анализ характера изменений ускорений газового потока; г — кинематический анализ характера изменений первичных движущих сил от изменения статического давления газового потока

Контрольный контур Н-Н₁ воздушно-реактивного двигателя состоит из следующих зон [3, рис. 3.1]:

Н-В₂ — зона ускорения газового потока под действием градиента статических давлений, генерируемого разностью между атмосферным и статическим давлением в сечении В₂-В₂;

В₂-К — зона сжатия газового потока;

К-С — зона ускорения газового потока, или зона реактивного сопла, в котором генерируется тяга двигателя [3, 12];

С-Н₁ — зона выходящей струи.

В зоне Н-В₂ приложена энергия турбины (двигателя) в виде работы по расширению (вакуумированию) газового потока с целью получения расчетного статического давления в сечении В₂-В₂ (ниже атмосферного давления) с последующим ускорением газового потока в зоне Н-В₂ под действием градиента статических давлений, генерируемого разностью между атмосферным и давлением в сечении В₂-В₂, с целью получения расчетной кинетической энергии газового потока в сечении В₂-В₂, $m_r C_a^2 / 2$, где m_r — секундный массовый расход газового потока через двигатель, C_a — осевая скорость газового потока на расчетном режиме в сечении В₂-В₂, регламентируя при этом работу первичных движущих сил от изменения статических давлений газового потока согласно рис. 1, з, заштрихованная зона Н-В₂ со знаком «плюс».

В зоне В₂-К имеет место сжатие газового потока до максимальной P_k^* путем перехода части кинетической энергии, накопленной в зоне Н-В₂, в потенциальную энергию давления газового потока в зоне В₂-К, регламентируя при этом работу первичных движущих сил от изменения статических давлений газового потока согласно рис. 1, г, заштрихованная зона В₂-К со знаком «минус». Согласно Закона сохранения энергии работа первичных движущих сил от изменения статических давлений газового потока в зоне Н-В₂ всегда равна и противоположно направлена работе первичных движущих сил от изменения статических давлений газового потока в зоне В₂-К. Это означает, что для сжатия газового потока до максимальной P_k^* компрессора КНД, КСД, КВД в зоне В₂-К получают энергию от турбин только спереди, поскольку в этой зоне имеет место автоматический переход части кинетической энергии газового потока, накопленной в зоне Н-В₂, в потенциальную энергию давления. Другими словами, внешней работой, подводимой турбиной (двигателем) к КНД, КСД, КВД спереди, является часть кинетической энергии газового потока, которая в процессе торможения газового потока от C_a до C_k в зоне сжатия В₂-К генерирует силу инерции, сжимающей газовый поток до максимальной P_k^* . При $C_k = 100$ м/с = const величина силы инерции, сжимающей газовый поток, полностью зависит от изменения кинетической энергии газового потока от сечения В₂-В₂ до сечения К-К, т. е. от C_a .

Вывод: при заданной C_a , регламентирующей расчетную кинетическую энергию в сечении В₂-В₂, можно получить только определенную максимальную P_k^* , а для увеличения P_k^* необходимо увеличить C_a . Например, при $C_a = 180$ м/с максимальная P_k^* равна 22,8 для ТРДД Д-436ТП, а при $C_a = 240$ м/с максимальная P_k^* равна 50. Поэтому направления технического прогресса в области авиадвигателестроения будут связаны с увеличением C_a выше 240 м/с, а значит и P_k^* , что возможно только при полном устранении кинематической зоны жесткого (упругого) удара в сечении В-В современных турбореактивных двигателей [3, рис. 3.1, в] и правиль-

ным проектированием второго контура турбореактивных двухконтурных двигателей.

5. Генерирование дополнительного крутящего момента на лопатках рабочих колес осевых компрессоров КНД, КСД, КВД энергией продуваемого газового потока

На основании экспериментальных данных современной теории воздушно-реактивных двигателей, приведенных в [13, рис. 3.3], следует, что при продувке лопаточных профилей рабочих колес осевых компрессоров по схеме, представленной на рис. 2, статическое давление продуваемого газового потока по спинке превышает аналогичное по корытцу продуваемого профиля.

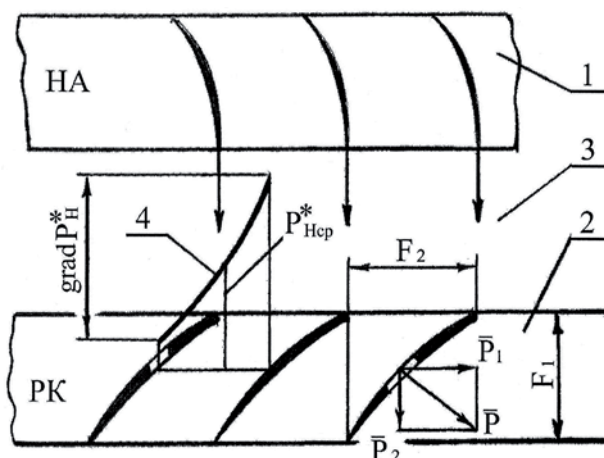


Рис. 2. Генерирование дополнительного крутящего момента на лопатках рабочих колес осевых компрессоров энергией продуваемого газового потока без потребления энергии от турбины в зоне В₂-К: 1 — направляющий аппарат (НА) предыдущей ступени компрессора; 2 — рабочее колесо (РК) компрессора; 3 — зона заторможенного потока; 4 — характер изменения статического давления газового потока в межлопаточных каналах рабочих колес компрессора

Это связано с тем, что осевой поток из направляющего аппарата (НА) 1 предыдущей ступени набегаёт (ударяет) на спинки продуваемых лопаток РК 2, при этом торможение газового потока осуществляется кинематическим уменьшением осевой скорости газового потока от ступени к ступени, скачками уплотнения газового потока, которые генерируются только по спинкам продуваемых лопаток РК КНД, КСД, КВД [14, рис. 4], и лобовым сопротивлением спинки лопаток. В результате торможения газового потока появляется сила инерции, которая сжимает газовый поток, генерируя при этом зону заторможенного потока 3, статическое давление которой по спинке лопатки продуваемых профилей существенно выше аналогичного по корытцу. Характер изменения статических давлений продуваемого газового потока в межлопаточных каналах лопаток РК представлен на рис. 2, поз. 4, из которого следует, что разность давлений по спинке и по корытцу лопаток, $grad P_n^*$, превосходит среднее давление $P_{н*}$ и генерирует нормальное давление по спинке лопатки в виде вектора силы \bar{P} , которая раскладывается на две составляющие: окружную силу P_1 , генерирующую дополнительный

крутящий момент осевого компрессора в зоне сжатия газового потока В₂-К и осевую силу P₂.

Каждая лопатка РК осевого компрессора имеет лобовую площадь по направлению вращения F₁ и лобовую площадь по направлению осевого продуваемого газового потока F₂, рис. 2. Если предположить, что градиент статических давлений в межлопаточных каналах РК осевых компрессоров будет наоборот, т. е. статическое давление по корытцу будет больше, чем по спинке лопатки, и рассчитать момент сопротивления на лопатках РК КНД, КСД, КВД по лобовой площади F₁ только по известному среднему давлению и сравнить его с аналогичным по соответствующей турбине, то крутящий момент, генерируемый турбиной, будет в два раза меньше. Это говорит о том, что энергия, срабатываемая на турбине, идет только на преодоление части кинетической энергии роторов, в которую входит работа по расширению (вакуумированию) и ускорению газового потока в зоне Н-В₂.

Таким образом, кинематическое уменьшение осевой скорости газового потока от ступени к ступени тормозит поток комплексом гидравлических сопротивлений, к которым относятся:

1. Скачки уплотнения газового потока по спинкам лопаток РК.
2. Лобовое сопротивление лопаток РК и НА.
3. Уменьшение площади или геометрического объема газодинамического тракта в самой ступени и от ступени к ступени.
4. Поворот потока, который регламентируется кинематикой потока.

6. Расчет степени повышения давления осевых компрессоров при преобразовании части кинетической энергии газового потока, накопленной в зоне Н-В₂, в потенциальную энергию давления в зоне В₂-К

Расчет степени повышения давления осевых компрессоров при преобразовании части кинетической энергии газового потока, накопленной в зоне Н-В₂, в потенциальную энергию давления в зоне сжатия газового потока В₂-К, согласно «Единой теории движителей на непрерывных потоках» [3], проводится впервые.

Рассмотрим осевые компрессора КНД, КСД, КВД турбореактивного двухконтурного двигателя (ТРДД) Д-436ТП, как единую ступень. Кинематический анализ, представленный на рис. 1, зона В₂-К, показывает, что для безударного вхождения газового потока в камеру сгорания ускорение газового потока, а значит и сила инерции, на последних РК КВД должны приближаться к нулю. Поэтому расчет силы инерции, генерируемой при торможении газового потока комплексом гидравлических сопротивлений при уменьшении осевой скорости газового потока от ступени к ступени, будем вести по среднему сечению.

Данные для расчета, ТРДД Д-436ТП:

C_а = 180 м/с — осевая скорость газового потока на входе в подпорную ступень КНД, сечение В₂-В₂;

C_к = 100 м/с — осевая скорость газового потока на выходе из КВД, сечение К-К;

G_т = 66 кг/с — весовой расход газового потока по первому контуру;

L_к = 1,4 м — общая длина осевых компрессоров КНД, КСД, КВД;

F_{в2} = 4060 см² — площадь газодинамического тракта на входе в подпорную ступень КНД, сечение В₂-В₂;

F_к = 460 см² — площадь газодинамического тракта на выходе из КВД, сечение К-К;

F_{ср} — площадь газодинамического тракта по среднему сечению:

$$F_{ср} = \frac{F_{в2} + F_{к}}{2} = \frac{4060 + 460}{2} = 2260 \text{ см}^2; \quad (1)$$

C_{ср} — скорость газового потока в среднем сечении:

$$C_{ср} = \frac{C_{а} + C_{к}}{2} = \frac{180 + 100}{2} = 140 \text{ м/с}. \quad (2)$$

6.1. Расчет средней силы инерции, генерируемой при торможении газового потока кинематическим уменьшением осевой скорости от C_а до C_к. Силу инерции, P_{инн}, рассчитаем по уравнению Эйлера:

$$P_{инн} = m \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t}, \quad (3)$$

где ΔV — разность осевых скоростей газового потока на входе в компрессор, сечение В₂-В₂, и на выходе из компрессора, сечение К-К, рис. 2;

Δt — время перемещения газового потока от сечения В₂-В₂ до сечения К-К.

$$\Delta t = \frac{L_{к}}{C_{ср}} = \frac{1,4}{140} = 0,01 \text{ с}. \quad (4)$$

$$P_{инн} = m \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t} = 6,71 \cdot \frac{80}{0,01} = 53600 \text{ кг}. \quad (5)$$

6.2. Расчет максимальной степени повышения давления Π_к осевых компрессоров КНД, КСД, КВД ТРДД Д-436-ТП:

$$\Pi_{к}^* = \frac{P_{к}}{P_{н}}, \quad (6)$$

где P_к — удельное давление силы инерции на площадь F_{ср}; P_н — давление окружающей среды (МСА). При этом необходимо иметь в виду, что существующая формула для определения степени повышения давления Π_к^{*} [13], является ошибочной, поскольку в знаменателе должно быть не давление в сечении В-В, а давление окружающей среды (МСА), так как при делении на давление в сечении В-В при V_в = 0 Π_к^{*} получается завышенной, поскольку P_в < P_н, а при сверхзвуковых скоростях полета, например, когда P_в^{*} = 9 кг/см², наоборот, Π_к^{*} получается заниженной.

$$P_{к} = \frac{P_{инн}}{F_{ср}} = \frac{53600}{2260} = 23,7 \text{ кг/см}^2, \quad (7)$$

$$P_k^* = \frac{P_k}{P_{in}} = \frac{23,7}{1,033} = 22,8, \quad (8)$$

что полностью соответствует техническим данным ТРДД Д-436ТП [15].

6.3. Вывод теоремы об изменении кинетической энергии газового потока рассматриваемой трубки тока. Рассмотрим трубку тока зоны сжатия газового потока В₂-К. Изменение кинетической энергии газового потока для рассматриваемой трубки тока равно:

$$A_k = m_T \left(\frac{C_a^2 - C_k^2}{2} \right) = 6,71 \cdot \left(\frac{180^2 - 100^2}{2} \right) = 75000 \text{ кГм}. \quad (9)$$

То есть формула (9) дает нам ту часть общей кинетической энергии, накопленной в зоне Н-В₂, которая затрачивается на сжатие газового потока до максимальной P_k^* в компрессорах КНД, КСД, КВД. Силой, реализующей эту энергию, является $P_{ин}$ (5), работа которой равна:

$$A_{P_{ин}} = P_{ин} \cdot L_k = 53600 \cdot 1,4 = 75000 \text{ кГм}. \quad (10)$$

Таким образом, можно записать:

$$A_k = A_{P_{ин}}, \quad (11)$$

или:

$$m_T \left(\frac{C_a^2 - C_k^2}{2} \right) = P_{ин} \cdot L_k. \quad (12)$$

Уравнение (12) в «Единой теории движителей на непрерывных потоках» носит название теоремы об изменении кинетической энергии газового потока рассматриваемой трубки тока, которая читается так:

Изменение кинетической энергии газового потока всегда равно работе средней силы инерции рассматриваемой трубки тока.

Уравнение (12) является основой для расчета максимальной степени повышения давления P_k^* в осевых компрессорах при любых соотношениях m_T , C_a , C_k , $P_{ин}$, L_k .

7. Обсуждение результатов расчетов степени повышения давления осевых компрессоров воздушно-реактивных двигателей

Согласно «Единой теории движителей на непрерывных потоках» процесс сжатия газового потока до максимальной P_k^* в зоне В₂-К осуществляется не диффузорностью лопаток рабочих колес и направляющих аппаратов, как это принято в современной теории воздушно-реактивных двигателей, а преобразованием части кинетической энергии газового потока, накопленной в зоне Н-В₂, в потенциальную энергию давления газового потока в зоне В₂-К, поскольку процесс торможения газового потока с одновременным увеличением его статического давления осуществляется кинематическим

уменьшением осевой скорости газового потока от ступени к ступени и комплексом гидравлических сопротивлений, что генерирует силу инерции, направленную по потоку и сжимающую газовый поток до максимальной P_k^* , при этом дополнительный крутящий момент, необходимый для поддержания кинетической энергии роторов генерируется на лопатках РК энергией продуваемого газового потока, а энергия турбины затрачивается только на преодоление части кинетической энергии роторов, в которую входит работа по расширению (вакуумированию) и ускорению газового потока в зоне Н-В₂.

Основываясь на вышеизложенном, очередная научно-техническая работа будет касаться основных направлений технического прогресса в области авиадвигателестроения.

8. Выводы

В результате проведенных исследований:

1. Установлено, что кинематический анализ (рис. 1) полностью подтверждает, что внешняя работа турбины (двигателя) к компрессорам КНД, КСД, КВД для сжатия газового потока до максимальной P_k^* подводится только спереди, из зоны Н-В₂, в виде части кинетической энергии, накопленной в этой зоне.

2. Экспериментально подтверждено, [13, рис. 3.3], что при торможении набегающего газового потока скачками уплотнения, генерируемыми только по спинкам лопаток рабочих колес компрессоров, и лобовым сопротивлением спинок лопаток, [14, рис. 4], в межлопаточных каналах всех рабочих колес КНД, КСД, КВД статическое давление газового потока по спинкам существенно превосходит аналогичное по корытцам. Это генерирует дополнительный крутящий момент на роторах осевых КНД, КСД, КВД энергией продуваемого газового потока.

3. Доказано, что рассчитывать степень повышения давления P_k^* в компрессорах ВРД необходимо только через силу инерции, которая генерируется при торможении газового потока от C_a до C_k . Силу инерции необходимо рассчитывать из теоремы об изменении кинетической энергии газового потока рассматриваемой трубки тока.

Литература

- Шляхтенко, С. М. Теория и расчет воздушно-реактивных двигателей [Текст]: учеб. / под ред. С. М. Шляхтенко. — М.: Машиностроение, 1987. — 568 с.
- Мамедов, Б. Ш. Единая теория движителей. Разработка термодинамического цикла турбореактивных двигателей в координатах P-V, T-S [Текст]: тез. докл. / Б. Ш. Мамедов // XVIII Международный конгресс двигателестроителей, 14–19 сентября 2013 г. — Х.: ХАИ, 2013. — С. 90.
- Мамедов, Б. Ш. Единая теория движителей на непрерывных потоках [Текст]: моногр. / Б. Ш. Мамедов; Запорожский национальный технический университет. — Х.: Технологический центр, 2013. — 296 с.
- Мамедов, Б. Ш. Основы единой теории движителей на непрерывных потоках. Вывод формулы тяги, полетного (тягового) КПД турбореактивных двигателей [Текст]: тез. докл. / Б. Ш. Мамедов // XIX Международный конгресс двигателестроителей, 14–19 сентября 2014 г. — Х.: ХАИ, 2014. — С. 71.
- Мамедов, Б. Ш. Единая теория движителей. новое назначение и принцип работы «нулевой» ступени компрессора низкого давления [Текст]: сб. науч. тр. / Б. Ш. Мамедов // Авиационно-космическая техника и технология. — 2014. — Вып. 8/115. — С. 55–60.

6. Мамедов, Б. Ш. Единая теория двигателей. Новое назначение и принцип работы «нулевой» ступени компрессора низкого давления [Текст]: тез. докл. / Б. Ш. Мамедов // XIX Международный конгресс двигателестроителей, 14–19 сентября 2014 г. — Х.: ХАИ, 2014. — С. 70.
7. Карпов, Я. С. Основы аэрокосмической техники [Текст]: учеб. / Я. С. Карпов, Б. А. Панасенко, А. И. Рыженко. — Х.: ХАИ, 2007. — 656 с.
8. Стечкин, Б. С. Избранные труды. Теория тепловых двигателей [Текст]: учеб. / Б. С. Стечкин. — М.: Наука, 1977. — 410 с.
9. Нечаев, Ю. Н. Теория авиационных газотурбинных двигателей [Текст]: учеб. / Ю. Н. Нечаев, Р. М. Федоров. — М.: Машиностроение, 1977. — Ч. 1. — 311 с.
10. Micheli, M. Compressor Design From Specification to Validation: Application of a Fast and Reliable Process [Text] / M. Micheli, W. Kappis, G. Guidati, M. Felderhoff // Volume 7: Turbomachinery, Parts A and B. — 2009. — Paper № GT2009-59217. — P. 365–372. doi:10.1115/gt2009-59217
11. Terauchi, K. Redesign of an 11-Stage Axial Compressor for Industrial Gas Turbine [Text] / K. Terauchi, D. Kariya, S. Maeda, K. Yoshiura // Volume 6: Turbo Expo 2005, Parts A and B. — 2005. — Paper № GT2005-68689. — P. 261–267. doi:10.1115/gt2005-68689
12. Турбореактивный двоконтурный двигун [Текст]: пат. 86788 Україна, МПК F02K 1/00, F02K 3/00, F02C 7/00 / Мамедов Б. Ш.; заявник та патентовласник: Запорізький національний технічний університет. — № u200607941; заявл. 14.07.2006; опубл. 25.05.2009, Бюл. № 10. — 24 с.
13. Казанджан, П. К. Теория авиационных двигателей [Текст] / П. К. Казанджан, Н. Д. Тихонов, А. К. Янко. — М.: Машиностроение, 1983. — 223 с.
14. Горячкин, Е. С. Моделирование рабочего процесса трехступенчатого компрессора низкого давления газотурбинного двигателя [Текст] / Е. С. Горячкин, Г. М. Попов, В. Н. Матвеев // Авиационно-космическая техника и технология. — 2014. — № 8/115. — С. 61–65.
15. Гражданская авиация России [Текст]. — М.: Военный парад, 2004. — 336 с.

РОЗРАХУНОК СТУПЕНЯ ПІДВИЩЕННЯ ТИСКУ ОСЬОВИХ КОМПРЕСОРІВ ПОВІТРЯ-РЕАКТИВНИХ ДВИГУНІВ

У роботі доказано, що існуюча у сучасній теорії ПРД думка про те, що у зоні Н-В₂ зовнішня робота від турбіни (двигуна) до газового потоку не підводиться, а стиснення газового потоку до максимальної P_k^* у зоні В₂-К відбувається тільки дифузійними міжлопаточними каналами робочих коліс компресорів низького, середнього та високого тиску (КНТ, КСТ, КВТ), помилкова і пояснюється тим, що в КНТ, КСТ, КВТ не існує дифузійних каналів, а існують тільки конфузійні канали.

Ключові слова: кінетична і потенційна енергія, сила інерції, осьовий компресор.

Мамедов Борис Шамшадович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра начертальної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки, Запорізький національний технічний університет, Україна.

Штанько Петр Константинович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра механіки, Запорізький національний технічний університет, Україна.

Мамедов Борис Шамшадович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра нарисної геометрії, інженерної та комп'ютерної графіки, Запорізький національний технічний університет, Україна.

Штанько Петро Костянтинівич, кандидат технічних наук, доцент, кафедра механіки, Запорізький національний технічний університет, Україна.

Mamedov Boris, Zaporizhzhya National Technical University, Ukraine. Shtanyko Petr, Zaporizhzhya National Technical University, Ukraine

УДК 621.431.74

DOI: 10.15587/2312-8372.2016.67005

Луковцев В. С.,
Борисенков Е. Е.,
Гвоздева И. М.

УПРАВЛЕНИЕ МОЩНОСТЬЮ ГЛАВНОГО ДВИГАТЕЛЯ С УЧЕТОМ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

В работе исследована проблема управления мощностью главного двигателя с учетом влияния гидрометеорологических условий мореплавания. Рассматриваемая в работе концепция дизель-электрохода создает возможность обеспечить необходимую оперативность управления судовой двигательной установкой в штормовых ситуациях. Указанная задача решается путем разработки закона управления электрической машиной, работающей на один вал с главным двигателем, и контроля необходимых гидрометеорологических параметров.

Ключевые слова: главный двигатель, гидрометеорологические условия, пропульсивный комплекс, топливно-энергетические ресурсы, электрическая машина.

1. Введение

Эффективность использования транспортных судов для перевозки грузов неразрывно связана с рациональным распределением нагрузки главного двигателя. В силу того, что транспортные суда эксплуатируются на протяженных рейсовых линиях, где постоянно меняются гидрометеорологические условия, главному двигателю необходимо перестраиваться на новый маршрут плавания, участки которого отличаются разным сопротивлением среды движению судна.

В итоге не обеспечиваются постоянная нагрузка и постоянство скоростного режима работы главного двигателя, в качестве которого обычно используется малооборотный дизель (МОД) с регулятором частоты вращения и прямой передачей мощности на гребной винт [1].

Данное противоречие создает проблему эффективного управления мощностью главного двигателя, осуществляемого на основе учета гидрометеорологических условий района мореплавания с целью минимизации расхода топливно-энергетических ресурсов при выполнении