

УДК 621.735

А. И. РЫЖЕНКО, Р. Ю. ЦУКАНОВ

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Украина

ПРОФИЛИРОВАНИЕ КОЛЬЦЕВЫХ ВОЗДУХОЗАБОРНИКОВ ТУРБОВИНТОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Изложен оперативный метод определения основных параметров кольцевых воздухозаборников турбовинтовых двигателей на этапе эскизного проектирования самолета, обеспечивающий требуемый расход воздуха при заданной геометрии входного устройства двигателя. Результаты расчёта по этому методу удовлетворительно согласуются с профилями реальных кольцевых воздухозаборников турбовинтовых двигателей. Метод может быть использован при реальном эскизном проектировании, выполнении исследований по оптимизации параметров авиационных силовых установок, а также при выполнении курсовых и дипломных проектов.

Ключевые слова: воздухозаборник, турбовинтовой двигатель, профилирование, эскизное проектирование.

Введение

Профилирование воздухозаборника является ответственным этапом проектирования силовой установки практически любого самолета. Профилирование выполняют многократно: варьируют режим полета, ряд проектных параметров (включая компоновку силовой установки) в целях отыскания наиболее эффективного варианта, при уточнении исходных данных по мере развития проекта и выполнения дополнительных экспериментальных исследований. Кроме того, работу воздухозаборника анализируют на различных режимах полета, при различных углах атаки и скольжения, шаге винта, а также в аварийных и нештатных ситуациях. Особенно многочисленны итерации на этапе эскизного проектирования. Поэтому разработка простого, достаточно точного и быстро осуществимого при ограниченных исходных данных метода такого расчета, позволяющего сократить затраты времени и интеллектуальных ресурсов на выполнение эскизного проектирования воздухозаборников будущего самолета, – непростая и весьма актуальная задача. Этот же метод обеспечивает точность, достаточную для выполнения курсовых и дипломных проектов.

Широко известен метод В. И. Поликовского [1] для профилирования воздухозаборника турбореактивного двигателя. С незначительными изменениями [2] он используется на сегодняшний день, по крайней мере, в учебном процессе [3-8]. Однако применить его для профилирования кольцевых воздухозаборников турбовинтовых двигателей (ТВД) не представляется возможным ввиду наличия воздушного винта и его редуктора, расположенных, как правило, в передней части двигателя – как раз в

районе воздухозаборника. Это требует определённых изменений расчётной схемы и алгоритма профилирования таких воздухозаборников. Разработка и апробация четкого метода профилирования кольцевого воздухозаборника ТВД и составляют цель проведенной работы, результаты которой изложены в данной статье.

Постановка задачи исследования

Исходными данными для профилирования воздухозаборника ТВД являются (рис. 1): скорость полёта V_H , высота полёта H , диаметр миделя втулки воздушного винта D_B , длина втулки винта L_B (а для случая соосных винтов, дополнительно, – длина втулки второго винта L_{B2}), расстояние от втулки второго винта до внутренней кромки входа в двигатель (другими словами, длина обтекателя редуктора) L_{op} , внутренний и наружный диаметры входа в двигатель перед компрессором $d_{дв}$, $D_{дв}$, расстояние по оси X от внутренней до наружной кромок входа в двигатель $L_{укл}$ (в частном случае может быть равно нулю), расстояние от втулки заднего винта до передней кромки воздухозаборника ΔL и расход воздуха G_B , кг/с на расчётном режиме полёта.

В рассматриваемом случае профилирования кольцевого воздухозаборника необходимо решить следующие задачи: профилирование втулки винта и обтекателя редуктора; определение площадей входного сечения; профилирование внешних обводов; профилирование внутренних обводов; профилирование входной кромки.

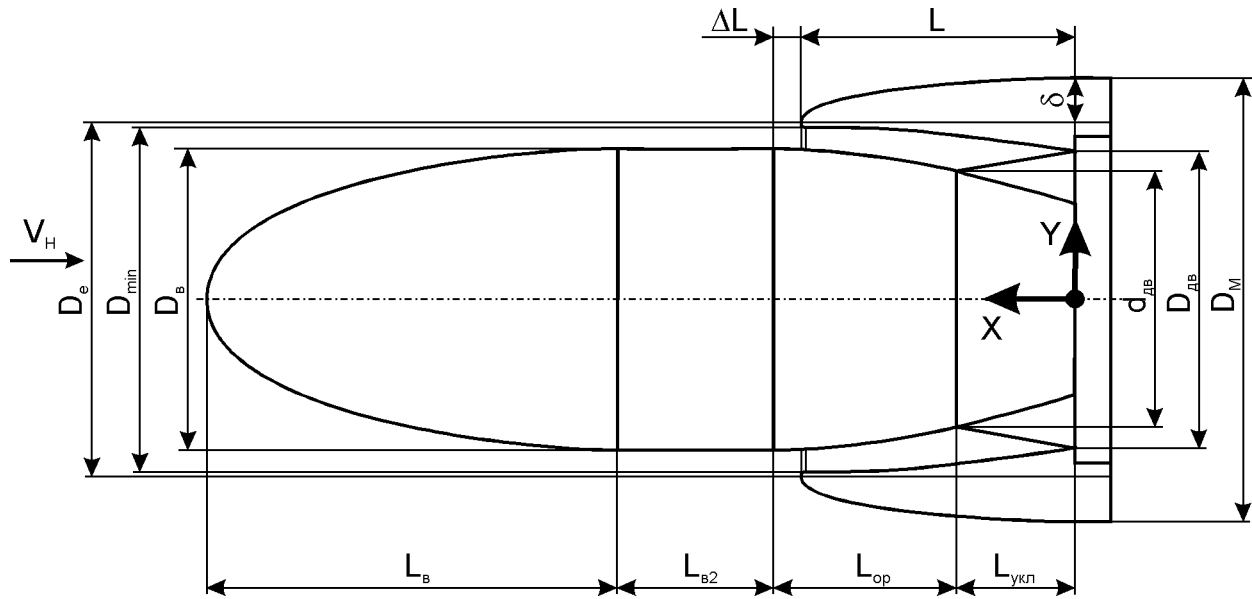


Рис. 1. Расчётная схема воздухозаборника ТВД

Метод профилирования кольцевого воздухозаборника ТВД

Профилирование втулки винта и обтекателя редуктора можно выполнить по закону двух эллипсов.

Вначале определяют длину обечайки воздухозаборника:

$$L = L_{op} + L_{укл} - \Delta L. \quad (1)$$

Для втулки первого винта можно принять:

$$\frac{[x - (L + \Delta L + L_{B2})]^2}{L_B^2} + \frac{y^2}{(D_B/2)^2} = 1,$$

где $x \in [(L + \Delta L + L_{B2}), (L + \Delta L + L_{B2} + L_B)]$.

Втулку второго винта в первом приближении можно принять цилиндрической с диаметром, равным диаметру миделя втулки первого винта.

Для обтекателя редуктора можно принять:

$$\frac{[x - (L + \Delta L)]^2}{(L_{op} + L_{op1})^2} + \frac{y^2}{(D_B/2)^2} = 1,$$

где $x \in [L_{укл}, (L + \Delta L)]$,

$$L_{op} + L_{op1} = \frac{L_{op}}{\sqrt{1 - (d_{дв}/D_{дв})^2}} - \text{большая полуось}$$

эллипса обтекателя редуктора.

Таким образом, профили втулки винтов и обтекателя редуктора известны:

$$y_B = \pm \frac{D_B}{2} \sqrt{1 - \frac{[x - (L + \Delta L + L_{B2})]^2}{L_B^2}}, \quad y_{B2} = \pm \frac{D_B}{2},$$

$$y_{op} = \pm \frac{D_B}{2} \sqrt{1 - \frac{[x - (L + \Delta L)]^2}{(L_{op} + L_{op1})^2}} \quad (2)$$

Площадь проходного сечения входа в воздухозаборник, m^2 , определяют по известной формуле

$$F_e = \frac{G_B}{V_e \rho_{сж}}, \quad (3)$$

где $V_e = \bar{V}_e V_H$ – скорость потока во входном сечении, м/с;

$\rho_{сж}$ – плотность воздуха с учётом сжимаемости, $кг/м^3$.

Отличие состоит лишь в том, что относительная скорость во входном сечении берётся с учётом обдувки винтом: $\bar{V}_e = 1,0 \dots 2,5$.

Для определения диаметра входа сначала необходимо получить полную площадь входного сечения по следующей формуле:

$$F_{e-t} = F_e + \pi u_{op}^2(L). \quad (4)$$

Тогда диаметр входа будет равен

$$D_e = \sqrt{\frac{4F_{e-t}}{\pi}}. \quad (5)$$

Профилирование внешних обводов и входной кромки выполняют также по закону эллипса. Однако, в отличие от исходного метода, для уменьшения миделевого сечения мотогондолы «скелетная» линия вырождается в цилиндр с диаметром, равным диаметру входа. Затем по нормали от этого «скелетного» цилиндра откладывают внешний обвод в виде эллипса (см. рис. 1).

Диаметр миделя мотогондолы задают как

$$D_M = k_2 D_e, \quad k_2 = 1,2 \dots 1,3. \quad (6)$$

Меньшую полуось δ определяют из геометрического соотношения

$$\delta = \frac{D_M - D_e}{2}. \quad (7)$$

Радиус кривизны входной кромки воздухозаборника на большей полуоси эллипса составляет

$$\rho_{\min} = \frac{\delta^2}{L}. \quad (8)$$

Внешний обвод профилируют по эллипсу с полуосями L и δ . Ординаты этого эллипса откладывают от «скелетного» цилиндра

$$\frac{x_\delta^2}{L^2} + \frac{y_\delta^2}{\delta} = 1. \quad (9)$$

Таким образом, внешний обвод имеет вид

$$y_{\text{внеш}} = \pm \left[\frac{D_e}{2} + \delta \sqrt{1 - \frac{x^2}{L^2}} \right], \quad (10)$$

где $x \in [0, L]$.

Для хорошей работы воздухозаборника на месте площадь проходного сечения поджатия принимают

$$F_{\min} = k_4 F_e, \quad k_4 = 0,8 \dots 0,9. \quad (11)$$

Радиус кривизны входной кромки изнутри равен

$$R = \frac{D_e - D_{\min}}{2}, \quad (12)$$

но найти его значение можно только после определения диаметра обечайки в сечении поджатия.

Диаметр обечайки в сечении поджатия можно определить из следующего условия:

$$F_{\min_t} = F_{\min} + \pi y_{\text{оп}}^2 (L - R) \quad (13)$$

или
$$\frac{\pi D_{\min}^2}{4} = F_{\min} + \frac{\pi D_B^2}{4} \times$$

$$\times \left(1 - \frac{1}{(L_{\text{оп}} + L_{\text{оп1}})^2} \left[\left(L - \frac{D_e - D_{\min}}{2} \right) - (L + \Delta L) \right]^2 \right)$$

Это условие сводится к квадратному уравнению относительно D_{\min} :

$$D_{\min}^2 + 2k D_{\min} + c = 0,$$

$$D_{\min} = -k + \sqrt{k^2 - c},$$

$$k = -\frac{D_B^2 (2\Delta L + D_e)}{4(L_{\text{оп}} + L_{\text{оп1}})^2 + D_B^2},$$

$$c = \left\{ \pi D_B^2 \left[(2\Delta L + D_e)^2 - 4(L_{\text{оп}} + L_{\text{оп1}})^2 \right] - 16(L_{\text{оп}} + L_{\text{оп1}})^2 F_{\min} \right\} / \left[\pi \left[4(L_{\text{оп}} + L_{\text{оп1}})^2 + D_B^2 \right] \right]. \quad (14)$$

Приведенные выкладки позволяют найти радиус кривизны входной кромки изнутри по формуле (12).

Профилирование внутренних обводов выполняется по линейному закону изменения площадей

проходного сечения:

$$F(x) = F_2 + \left(\frac{F_{\min} - F_2}{L - R} \right) x, \quad (15)$$

где F_2 – площадь проходного сечения на входе в двигатель:

$$F_2 = \frac{\pi}{4} \left[D_{\text{дв}}^2 - 4y_{\text{оп}}^2(0) \right]. \quad (16)$$

При этом необходимо знать профиль входного участка двигателя от внутренней до наружной кромки входа в него. Этот профиль является частью двигателя и в реальном проектировании известен. Однако в первом приближении его можно задать по линейному закону

$$y_{\text{оп}} = \pm \left[\frac{d_{\text{дв}}}{2} + \text{tg} \beta_{\text{вх}} (x - L_{\text{укл}}) \right], \quad (17)$$

где $x \in [0, L_{\text{укл}}]$,

$$\text{tg} \beta_{\text{вх}} = \frac{D_B^2 - d_{\text{дв}}^2}{2 d_{\text{дв}} L_{\text{оп}}} - \text{тангенс угла наклона касательной к профилю обтекателя редуктора на внутренней кромке входа в двигатель.}$$

Таким образом, внутренний контур обечайки определен

$$y_{\text{вн}} = \begin{cases} \pm \sqrt{\frac{1}{\pi} \left[\pi y_{\text{оп}}^2(x) + F_2 + \left(\frac{F_{\min} - F_2}{L - R} \right) x \right]}, & x \in [0, (L - R)] \\ \pm \left[\frac{D_e}{2} - \sqrt{R^2 - [x - (L - R)]^2} \right], & x \in [(L - R), L] \end{cases} \quad (18)$$

Рассмотренный алгоритм реализован Р. Ю. Цукановым в расчётном модуле программного обеспечения Power Unit 10.0. Результаты расчётов по этому методу удовлетворительно согласуются с профилями кольцевых воздухозаборников ТВД, разработанными ведущими авиационными фирмами (рис. 2, 3).

В качестве примера на рис. 2, а показан результат расчёта кольцевого воздухозаборника для двигателя АИ-20 ($H = 9$ км, $M = 0,6$, $G_B = 18,4$ кг/с) и профиль воздухозаборника самолёта Ан-10А (рис. 2, б). На рис. 3, а показан результат профилирования кольцевого воздухозаборника для двигателя НК-12 с соосными винтами ($H = 11$ км, $M = 0,7$, $G_B = 25,3$ кг/с) и профиль воздухозаборника самолёта Ан-22 (рис. 3, б).

При реальном проектировании воздухозаборников, очевидно, учтены ряд дополнительных (производственных, эксплуатационных и других) требований, а также результаты трубных и натурных испытаний на различных режимах.

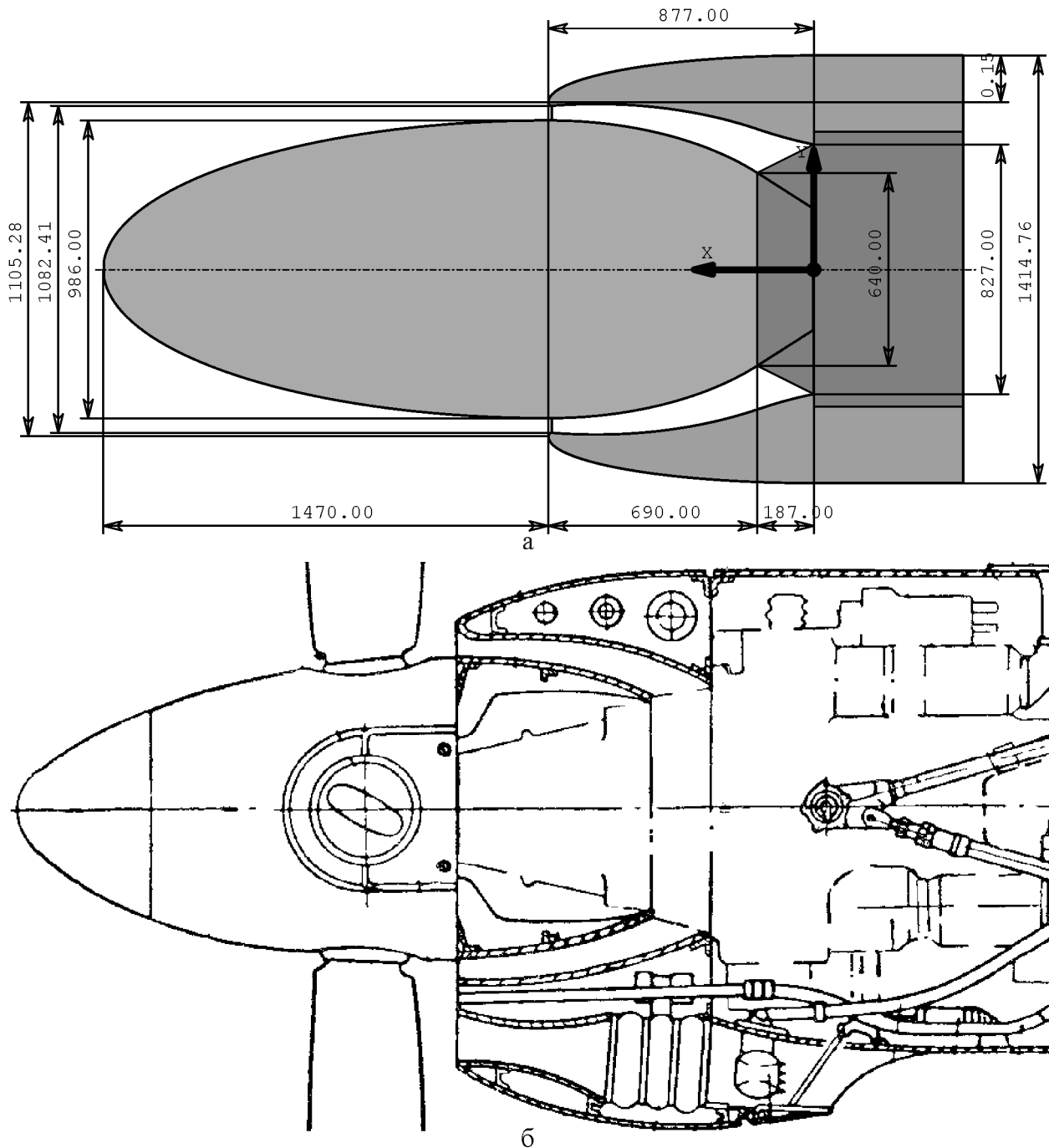


Рис. 2. Воздухозаборник двигателя АИ-20:
а – расчёт (Power Unit 10.0); б – профиль (Ан-10А) [9]

Заключение

1. Предложен метод профилирования кольцевых воздухозаборников ТВД, ориентированный на применение в практике многократных расчётов этапа эскизного проектирования самолетов в условиях дефицита информации.

2. Сопоставление результатов расчётов по этому методу с профилями реальных воздухозаборников, разработанных ведущими авиационными фирмами, продемонстрировало удовлетворительную

сходимость, т. е. получение параметров воздухозаборников, способных в перспективе удовлетворить всему сложному комплексу предъявляемых к ним требований. Некоторые отличия объясняются тем, что в реальных воздухозаборниках учтен намного более широкий комплекс требований, а также результаты продувок в аэродинамической трубе и натурных испытаний.

3. На основе предложенного метода разработан новый расчётный модуль программного обеспечения Power Unit версии 10.0 (Win32 UNICODE

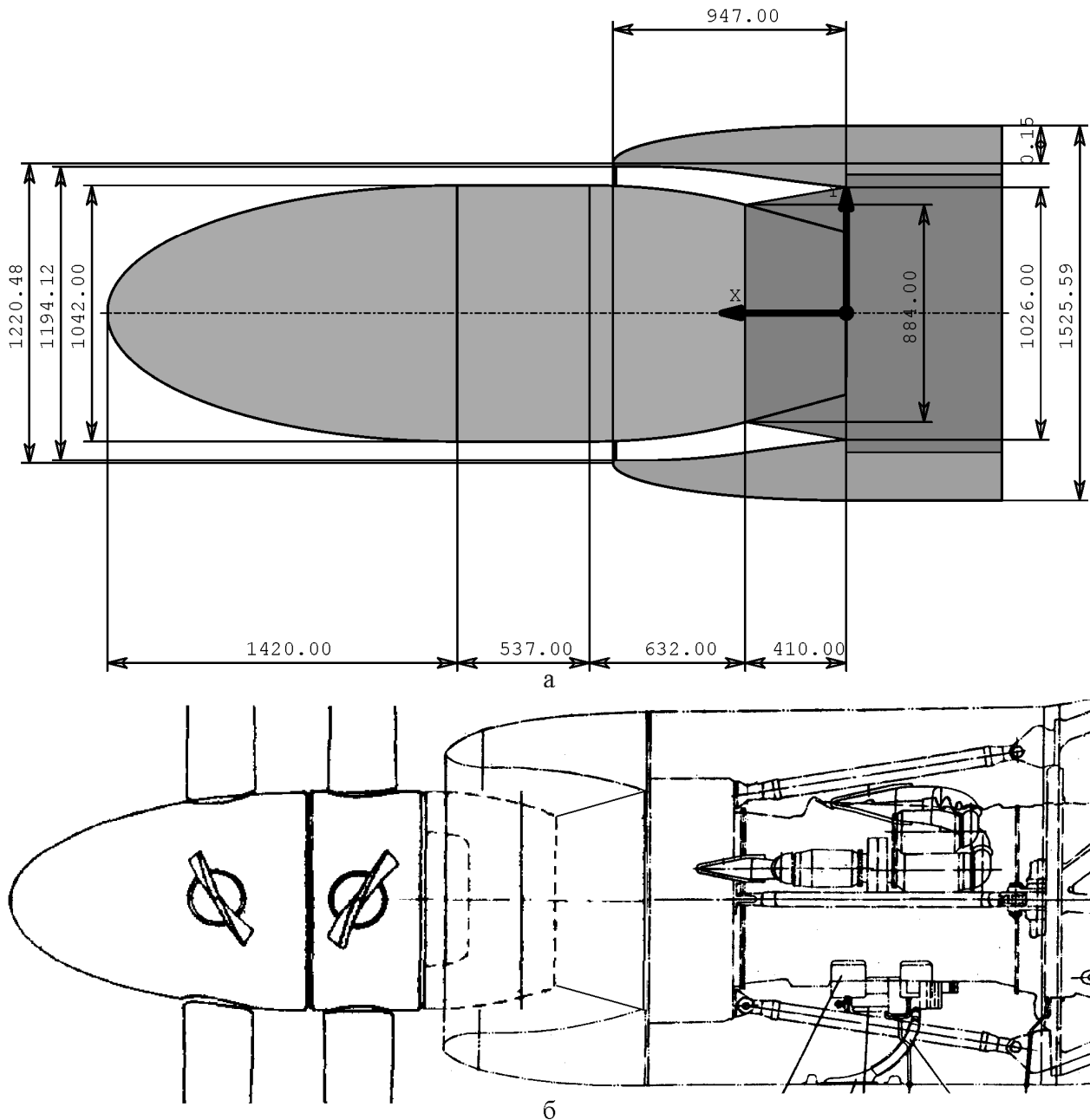


Рис. 3. Воздухозаборник двигателя НК-12:
а – расчёт (Power Unit 10.0); б – профиль (Ан-22) [10]

приложение, написанное на языке С) с дружественным пользовательским интерфейсом.

4. Для дальнейшего совершенствования метода проектирования воздухозаборников необходимо учесть результаты продувок типовых воздухозаборников в аэродинамических трубах или численного моделирования обтекания, особенности обдувки воздушным винтом, исследовать поведение воздухозаборников при косом обдуве, а также проанализировать работу этого устройства в нештатных и аварийных ситуациях, после чего доработать соответствующим образом программное обеспечение.

Литература

1. Поликовский, В. И. Самолётные силовые установки [Текст] / В. И. Поликовский. – М. : Оборонгиз, 1952. – 600 с.
2. Поликовский, В. И. Силовые установки летательных аппаратов с воздушно-реактивными двигателями [Текст] / В. И. Поликовский, Д. Н. Сурнов. – М. : Машиностроение, 1965. – 261 с.
3. Дыбский, П. В. Силовые установки самолётов [Текст] : метод. указания к курс. проектированию / П. В. Дыбский. – Х. : Харьк. авиац. ин-т, 1975. – 40 с.

4. Лебединский, А. Г. Силовые установки самолётов [Текст] : учеб. пособие по курс. и дипл. проектированию / А. Г. Лебединский, В. Д. Пехтерев, В. Н. Желдоченко. – Х. : Харьк. авиац. ин-т, 1981. – 64 с.

5. Данильченко, К. П. Воздухозаборники самолётов [Текст] : учеб. пособие по курс. и дипл. проектированию / К. П. Данильченко, А. Г. Лебединский. – Х. : Харьк. авиац. ин-т, 1984. – 56 с.

6. Проектирование систем силовых установок лётка [Текст] : консп. лекций / В. Ф. Шмирьов, Р. Ю. Цуканов, О. И. Рыженко, В. Д. Пехтерев. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2011. – 220 с.

7. Проектирование систем силовых установок самолётов [Текст] : консп. лекций / С. В. Епифанов, В. Д. Пехтерев, А. И. Рыженко и др. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2012. – 512 с.

8. Рыженко, А. И. Профилирование дозвуковых воздухозаборников двухконтурных турбореактивных двигателей [Текст] / А. И. Рыженко, Р. Ю. Цуканов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии : сб. науч. тр. Нац. аэрокосм. ун-та им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т». – Вып. 62. – Х., 2014. – С. 29-35.

9. Самолёт Ан-10А. Техническое описание [Текст] : в 4 кн. – М. : Воениздат. Кн. 2 : Конструкция самолёта, 1962. – 282 с.

10. Самолёт Ан-22. Техническое описание [Текст] : в 9 кн. – М. : Воениздат. Кн. 3 : Силовая установка, 1970. – 151 с.

11. Самолёт Ан-26. Техническое описание [Текст] : в 6 кн. – М. : Авиаэкспорт. – Кн. 2 : Конструкция самолёта. – 303 с.

12. Пассажирский самолёт Ил-18В. Техническое описание [Текст] : в 6 кн. – М. : Машиностроение. – Кн. 3 : Силовая установка, 1964. – 123 с.

Поступила в редакцию 20.02.2014, рассмотрена на редколлегии 12.03.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф., Лауреат Государственной премии Украины в области науки и техники, главный научный сотрудник А. В. Бетин, Научно-исследовательский институт проблем физического моделирования полета самолетов, Харьков.

ПРОФІЛЮВАННЯ КІЛЬЦЕВИХ ПОВІТРОЗАБІРНИКІВ ТУРБОГВИНТОВИХ ДВИГУНІВ

О. І. Рыженко, Р. Ю. Цуканов

Викладено оперативний метод визначення основних параметрів кільцевих повітрозабірників турбогвинтових двигунів на етапі ескізного проектування літака, що забезпечує потрібну витрату повітря при заданій геометрії вхідного пристрою двигуна. Результати розрахунків по цьому методі задовільно погоджуються із профілями реальних кільцевих повітрозабірників турбогвинтових двигунів. Метод може бути використано при реальному ескізованому проектуванні, виконанні досліджень з оптимізації параметрів авіаційних силових установок, а також виконанні курсових і дипломних проектів.

Ключові слова: повітрозабірник, турбогвинтовий двигун, профілювання, ескізне проектування.

SHAPING OF TURBOPROP'S ANNULAR AIR INTAKES

A. I. Ryzhenko, R. U. Tsukanov

Quick method, providing required air consumption at engine intake geometry specified, for turboprop air intake main parameters determination at airplane preliminary designing stage is given. Results of calculation using this method are conformed satisfactory to shapes of real annular air intakes of turboprops. The method can be used during real preliminary designing, parameters optimization research of aviation power plants, and also for course and diploma projects making.

Key words: air intake, turboprop, shaping, preliminary designing.

Рыженко Александр Иванович – д-р техн. наук, проф., проф. кафедры проектирования самолётов и вертолётот, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: airyzhenko@mail.ru.

Цуканов Руслан Юрьевич – старший преподаватель кафедры проектирования самолётов и вертолётот, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», Харьков, Украина, e-mail: ruslan@k103.d1.khai.edu.