

УДК 629.7.036.3.01

ВЛИЯНИЕ УГЛА ОТКЛОНЕНИЯ ВЫХОДНЫХ КРОМОК ПРОДОЛЬНЫХ РЕБЕР НА ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕШЕТОК УСТРОЙСТВА РЕВЕРСИРОВАНИЯ ТЯГИ, РАСПОЛОЖЕННОГО В НАРУЖНОМ КОНТУРЕ ТРДД

В. Л. ВАРСЕГОВ

varsegov@mail.ru

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А. Н. Туполева – КАИ» (КНИТУ-КАИ)

Поступила в редакцию 21.11.2016

Аннотация. Приведены результаты экспериментального исследования влияния угла отклонения выходных кромок продольных ребер γ на величину создаваемой решеткой обратной тяги R и величину коэффициента расхода решетки μ . Исследования проведены для решеток с переменным углом установки лопаток по длине решеток $\alpha = \text{var}$ от 44 до 54 градусов и с профилированным сечением лопатки.

Ключевые слова: ТРДД, устройство реверсирования тяги решетчатого типа, отклонение продольных ребер.

ВВЕДЕНИЕ

Существенным фактором, ограничивающим время работы устройства реверсирования тяги ТРДД при послепосадочном пробеге самолета, является попадание в воздухозаборник двигателя реверсивной струи, отраженной от взлетно-посадочной полосы. Одним из способов уменьшения попадания реверсивной струи во входное устройство двигателя является отклонение выходных кромок продольных ребер решеток устройства реверсирования тяги. Изменение угла выходных кромок ребер применяется в рядах решеток устройства реверсирования тяги, расположенных в нижней части двигателя. Такие решетки позволяют изменить радиальное направление потока и отвести реверсивную струю от взлетно-посадочной полосы в сторону, таким образом уменьшая попадание ее во входное устройство двигателя.

Внесение конструктивных изменений в решетки реверсивного устройства приводит к изменению их газодинамических характеристик.

ВВОДНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

С целью определения влияния угла выходных кромок продольных ребер на газодинамические характеристики решеток устройства реверсирования тяги были выполнены экспериментальные исследования моделей различных вариантов решеток.

Экспериментальные исследования проведены на установке, выполненной по геометрическому подобию с перспективным ТРДД ПД-14 в масштабе 1:2, и представляющей собой сектор наружного контура двигателя, включающий три модельные решетки устройства реверсирования тяги.

Для проведения экспериментального исследования были изготовлены 4 различных варианта моделей решеток реверсивного устройства с переменным углом установки лопаток по длине решетки α , который изменялся от 44 до 54 градусов (варианты исполнения решеток 1, 9, 10 и 11). В моделях решеток реверсивного устройства установлены лопатки, имеющие профилированный тип поперечного сечения с переменной толщиной профиля (тип p). Профиль лопатки решетки реверсивного устройства, спрофилированный с переменной толщиной профиля, показан на рис. 1.



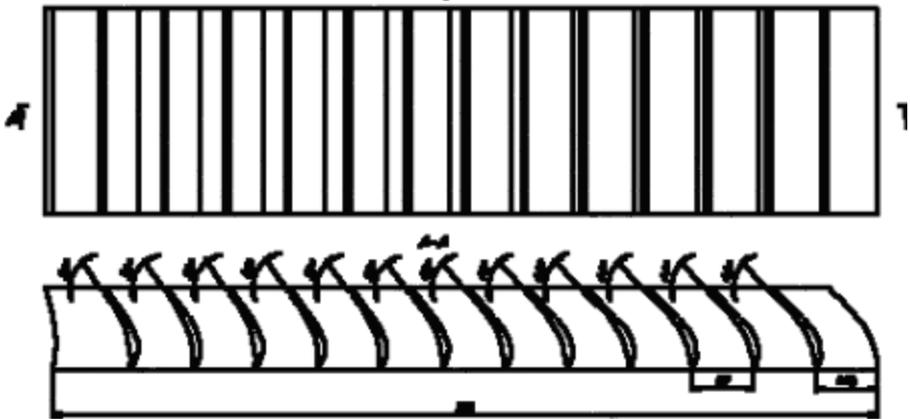
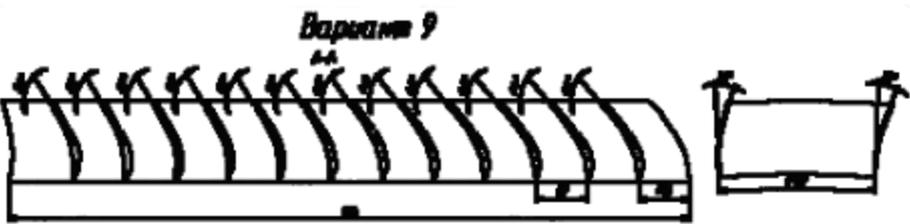
Рис. 1. Геометрия профиля лопатки решеток реверсивного устройства

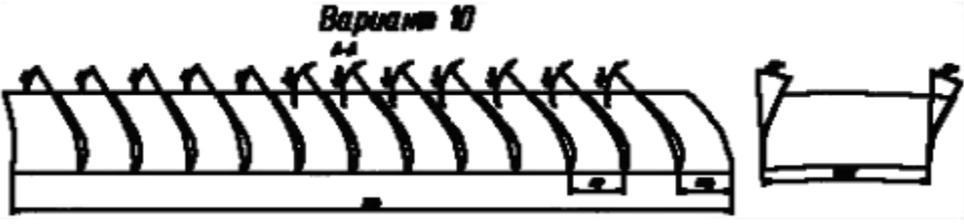
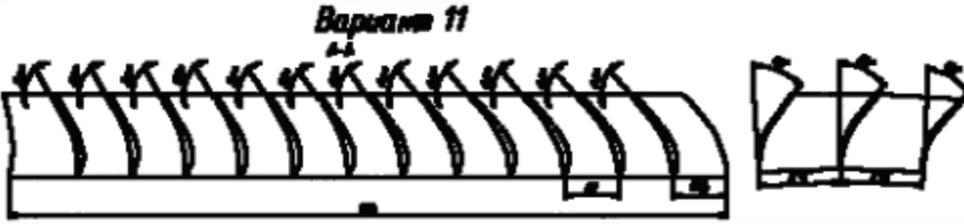
Решетки отличались различными углами отклонения выходных кромок продольных ребер γ . Геометрические параметры и схемы различных вариантов решеток реверсивного устройства приведены в табл.

Для решеток с углом отклонения выходных кромок продольных ребер $\gamma = 45^\circ$ добавлено дополнительное продольное ребро

Таблица

Варианты моделей решеток реверсивного устройства

№ варианта	Шаг решетки t , мм	Количество лопаток z	Угол установки лопаток на выходе из решетки относительно оси двигателя α	Схема и примечание
1	42	12	Угол установки лопаток в решетке α по длине решетки переменный	<p style="text-align: center;">Вариант 1</p>  <p style="text-align: center;">Тип профиля лопатки p</p>
9	42	12	Угол установки лопаток в решетке α по длине решетки переменный	<p style="text-align: center;">Вариант 9</p>  <p style="text-align: center;">Тип профиля лопатки p. Аналогичен варианту 1, выходные кромки продольных ребер повернуты на угол $\gamma = 20^\circ$</p>

10	42	12	Угол установки лопаток в решетке α по длине решетки переменный	 <p style="text-align: center;">Вариант 10</p> <p style="text-align: center;">Тип профиля лопатки p. Аналогичен варианту 9, выходные кромки продольных ребер повернуты на угол $\gamma = 30^\circ$</p>
11	42	12	Угол установки лопаток в решетке α по длине решетки переменный	 <p style="text-align: center;">Вариант 11</p> <p style="text-align: center;">Тип профиля лопатки p. Аналогичен варианту 9, выходные кромки продольных ребер повернуты на угол $\gamma = 45^\circ$, увеличена густота продольных стенок</p>

Проведено исследование влияния угла выходных кромок продольных ребер γ на величину создаваемой решеткой обратной тяги R и величину коэффициента расхода решетки μ .

Вычисление величины обратной тяги R проводилось методом интегрирования измеренного профиля скорости на выходе из решетки. При экспериментальном исследовании определялись направления векторов скоростей, после чего измерялись величины статического и полного давлений и температуры с интервалом 1 мм в плоскости симметрии решетки.

Действительный расход через решетки, необходимый для определения коэффициента расхода μ , измерялся с помощью диафрагмы.

Измеренные профили скоростей на выходе из модельных решеток вариантов 1, 9, 10 и 11 для различных значений скоростей потока приведены на рис. 2–5.

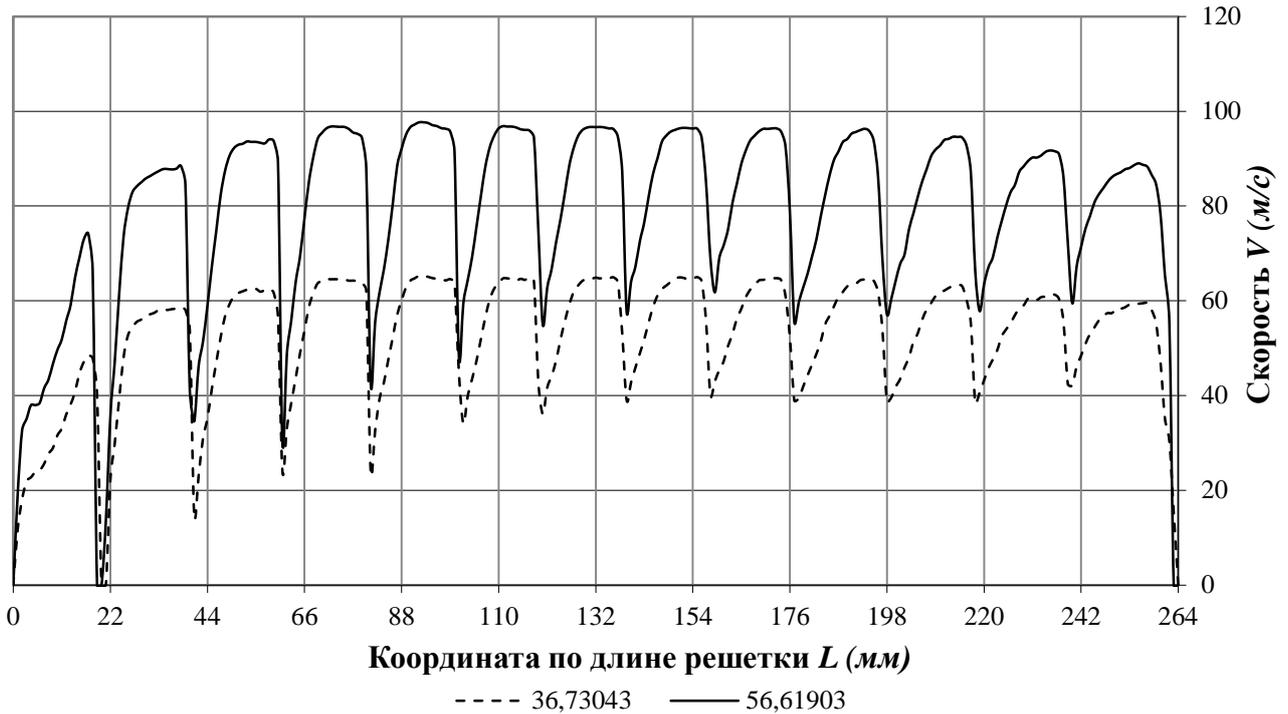
Влияние угла бокового отклонения продольных ребер γ на величину обратной тяги R в зависимости от степени расширения в решетке π_c для профилированных лопаток с переменными углами установки лопаток α показано на рис. 6 и 7,

а на величину относительной обратной тяги \bar{R} – на рис. 8.

Установлено, что при изменении угла бокового отклонения продольных ребер до величины $\gamma = 45^\circ$ значение относительной обратной тяги составляет 0,35 от относительной обратной тяги решетки с прямыми ребрами при $\pi_c = 1,1$.

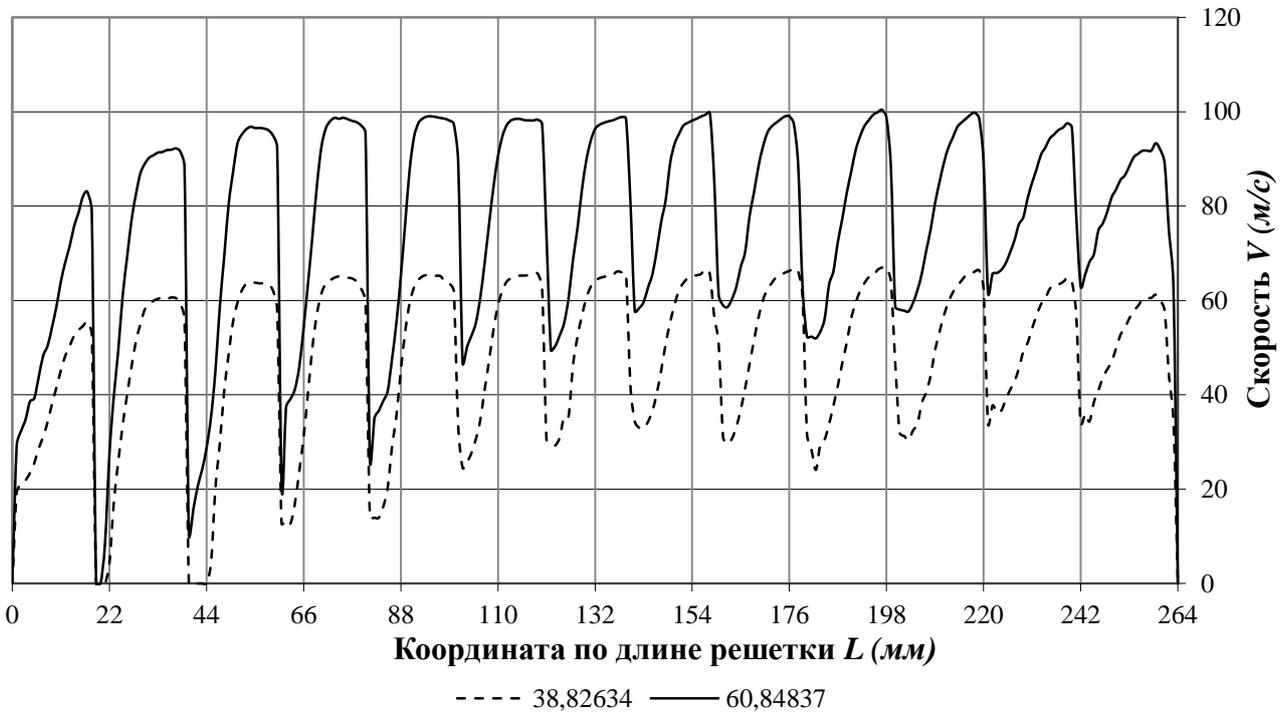
Зависимость коэффициента расхода μ от расхода через решетку G при различных углах бокового отклонения продольных ребер γ показано на рис. 9 и 10. При изменении угла бокового отклонения продольных ребер γ до величины 45° коэффициент расхода решеток увеличивается. Это объясняется тем, что несмотря на появление отрывных течений на спинках лопаток заполняемость межлопаточных каналов увеличивается.

Картина заполнения межлопаточных каналов для различных углов бокового отклонения продольных ребер $\gamma = 0, 20, 30$ и 45° при сохранении постоянного действительного расхода воздуха через решетки приведена на рис. 11 и 12.



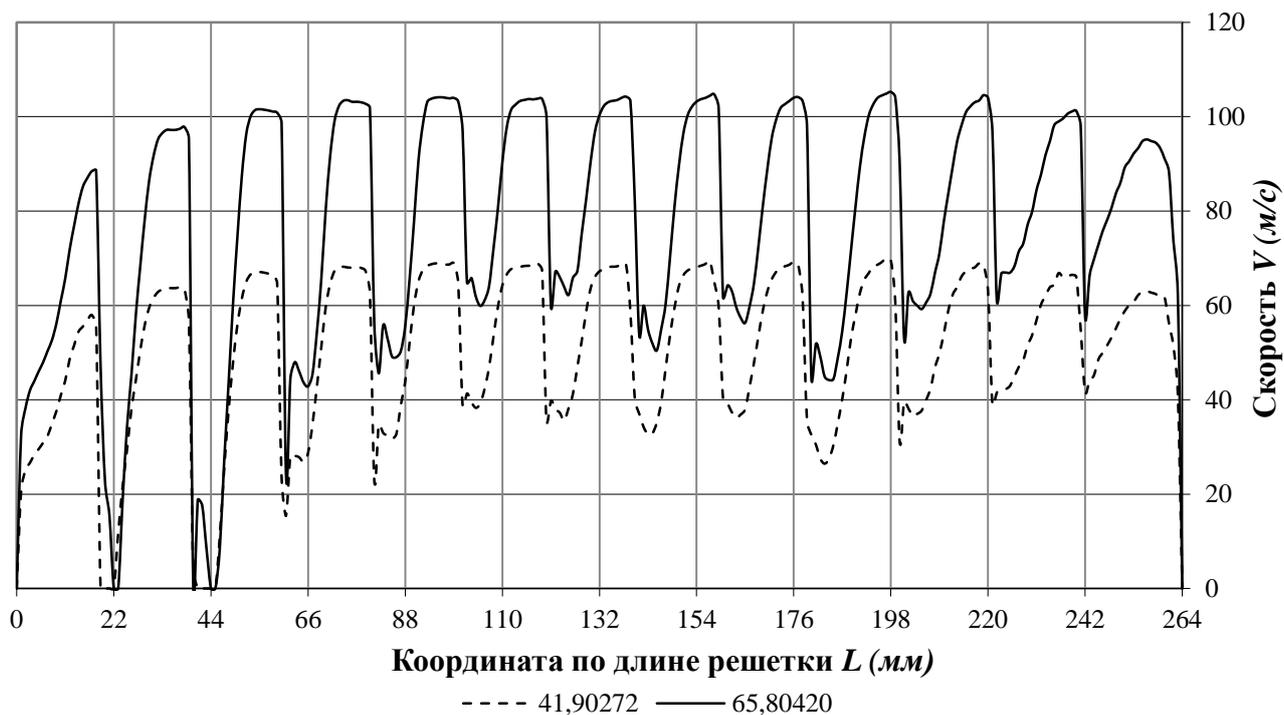
Вариант	Профиль лопаток	α (град.)	β (град.)	γ (град.)	Среднерасходная скорость на выходе (м / с)
1	p	var 44 – 54	90	0	36,730
1	p	var 44 – 54	90	0	56,619

Рис. 2. Профили скоростей на выходе из модельной решетки варианта 1 для различных значений скоростей на выходе



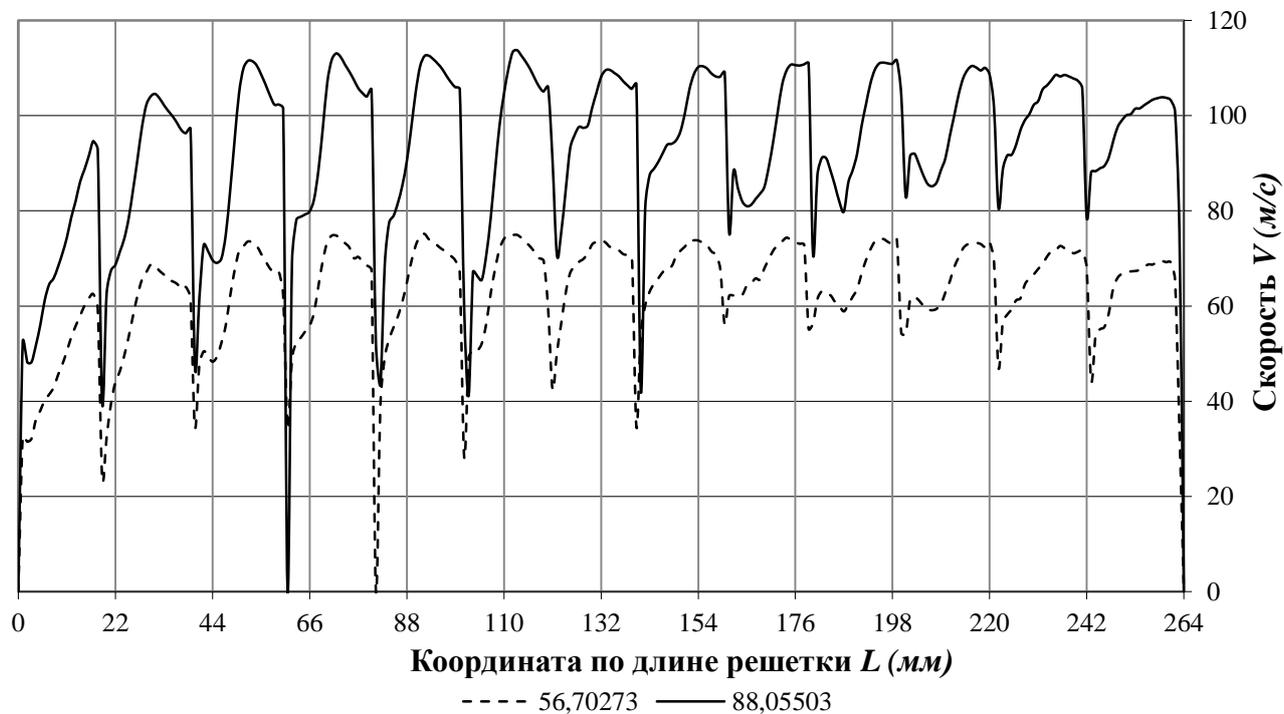
Вариант	Профиль лопаток	α (град.)	β (град.)	γ (град.)	Среднерасходная скорость на выходе (м / с)
9	p	var 44 – 54	90	20	38,826
9	p	var 44 – 54	90	20	60,848

Рис. 3. Профили скоростей на выходе из модельной решетки варианта 9 для различных значений скоростей на выходе



Вариант	Профиль лопаток	α (град.)	β (град.)	γ (град.)	Среднерасходная скорость на выходе (м / с)
10	p	var 44 – 54	90	30	41,903
10	p	var 44 – 54	90	30	65,804

Рис. 4. Профили скоростей на выходе из модельной решетки варианта 10 для различных значений скоростей на выходе



Вариант	Профиль лопаток	α (град.)	β (град.)	γ (град.)	Среднерасходная скорость на выходе (м / с)
11	p	var 44 – 54	90	45	56,703
11	p	var 44 – 54	90	45	88,055

Рис. 5. Профили скоростей на выходе из модельной решетки варианта 11 для различных значений скоростей на выходе

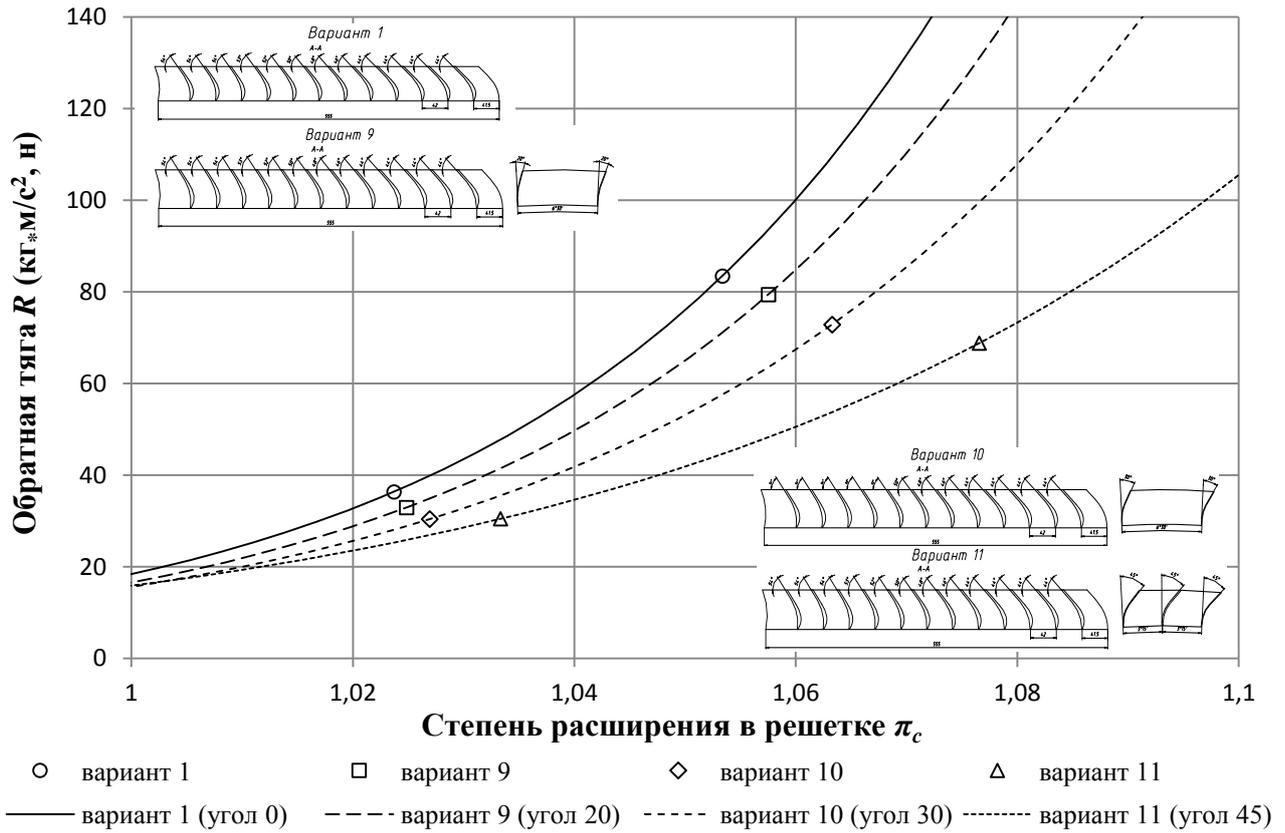


Рис. 6. Влияние угла бокового отклонения продольных ребер γ на величину обратной тяги R в зависимости от степени расширения в решетке π_c

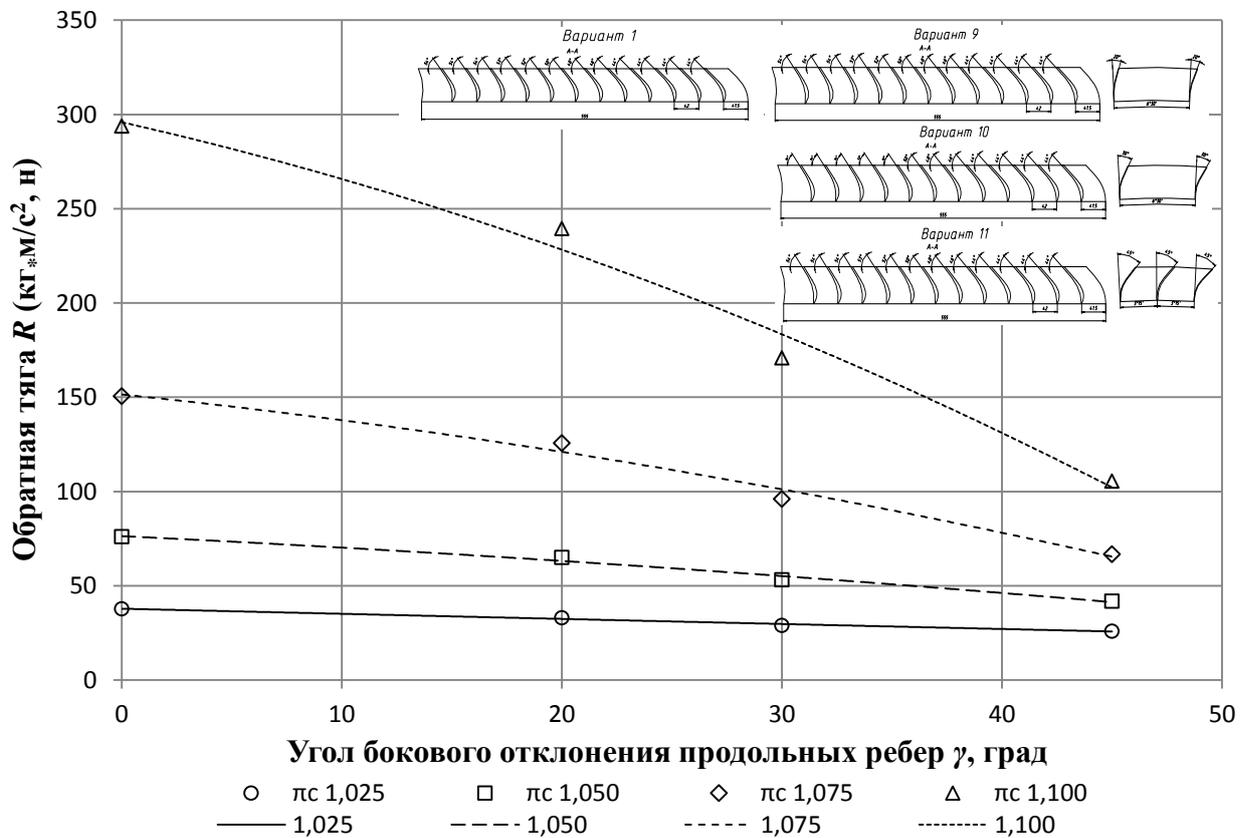
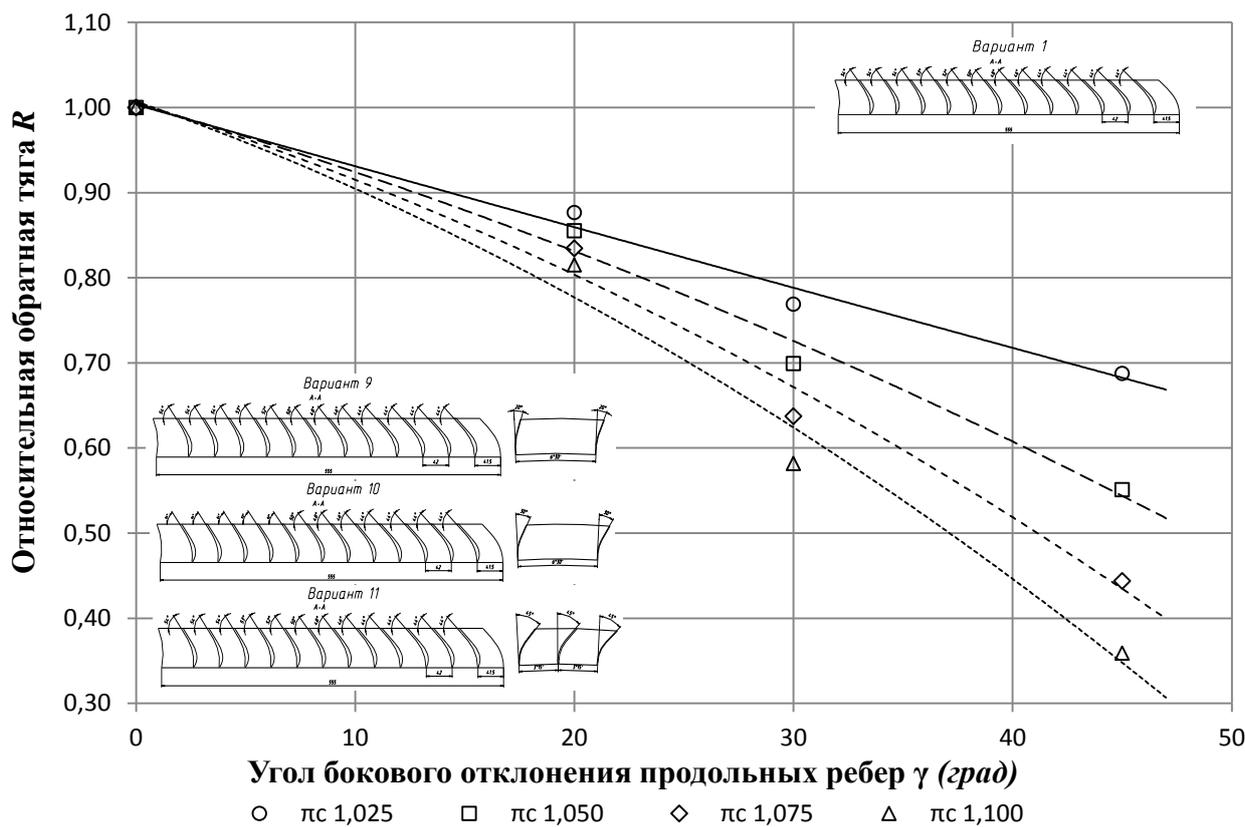


Рис. 7. Влияние угла бокового отклонения продольных ребер γ на величину обратной тяги R в зависимости от степени расширения в решетке π_c



Вариант	Профиль лопаток	α (град.)	β (град.)	γ (град.)	Среднерасходная скорость на выходе (м / с)
1	p	var 44 – 54	90	0	36,730
9	p	var 44 – 54	90	20	38,826
10	p	var 44 – 54	90	30	41,903
11	p	var 44 – 54	90	45	56,703

Рис. 8. Влияние угла бокового отклонения продольных ребер γ на величину относительной обратной тяги \bar{K} в зависимости от степени расширения в решетке π_c

Зависимость коэффициента реверсирования K_R от угла бокового отклонения выходных кромок продольных ребер γ показана на рис. 13.

Показано, что уменьшение коэффициента реверсирования K_R при изменении угла бокового отклонения выходных кромок продольных ребер γ протекает менее интенсивно, чем косинусные потери. Теоретическая кривая, учитывающая только косинусные потери, приведенная на рисунке, проходит ниже экспериментальной кривой при значении угла бокового отклонения продольных ребер $\gamma = 45^\circ$. Это свидетельствует о том, что при таком угле γ не весь поток разворачивается на требуемый угол.

Коэффициент реверсирования K_R при изменении угла отклонения выходных кромок про-

дольных ребер γ от значения 90° до 45° уменьшается от величины 0,62 до 0,43.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований можно сделать выводы, что для рассмотренных режимных диапазонов изменение угла бокового отклонения выходных кромок продольных ребер до величины $\gamma = 45^\circ$ по сравнению с прямыми ребрами приводит:

- 1) к уменьшению величины обратной тяги на 64% при $\pi_c = 1,1$;
- 2) к уменьшению коэффициента реверсирования на 30%;
- 3) к увеличению коэффициента расхода решеток μ на 35 %.

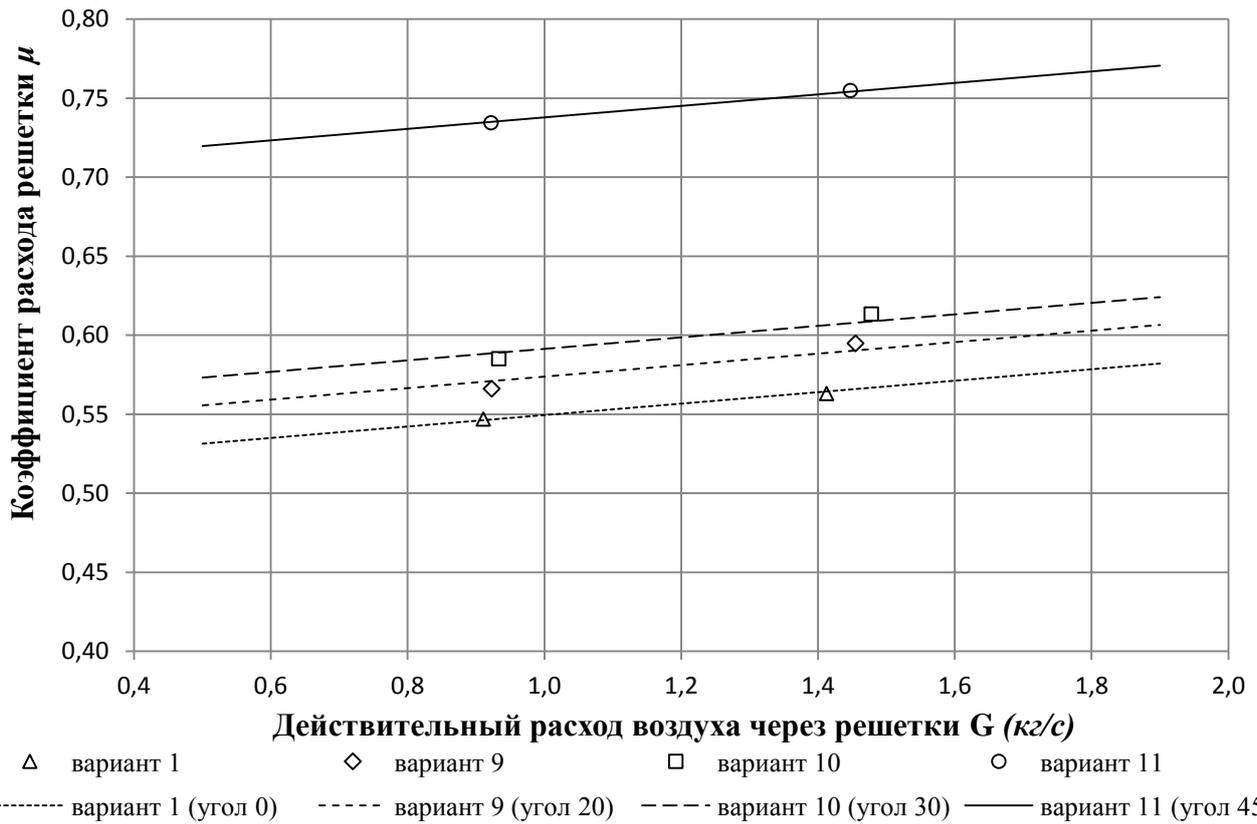


Рис. 9. Влияние угла бокового отклонения продольных ребер γ на коэффициент расхода решетки μ в зависимости от расхода через решетку G

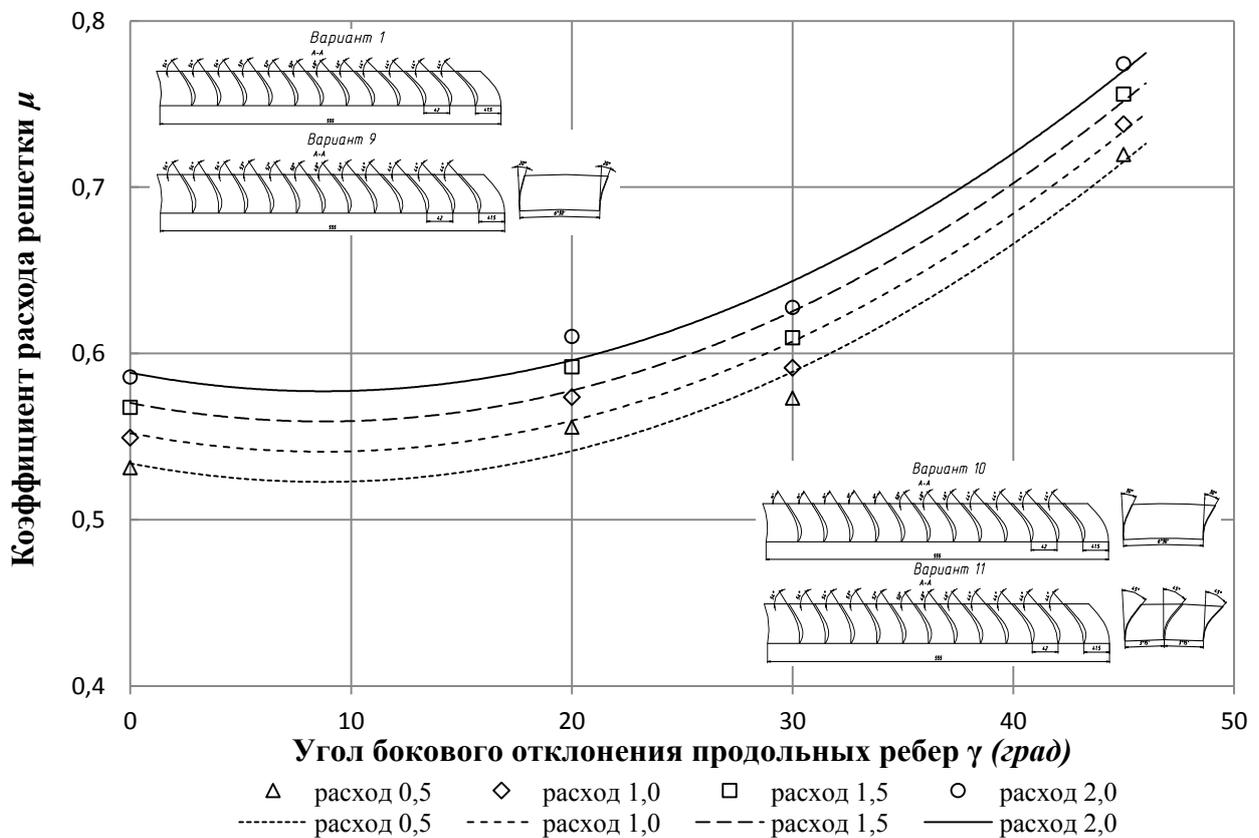
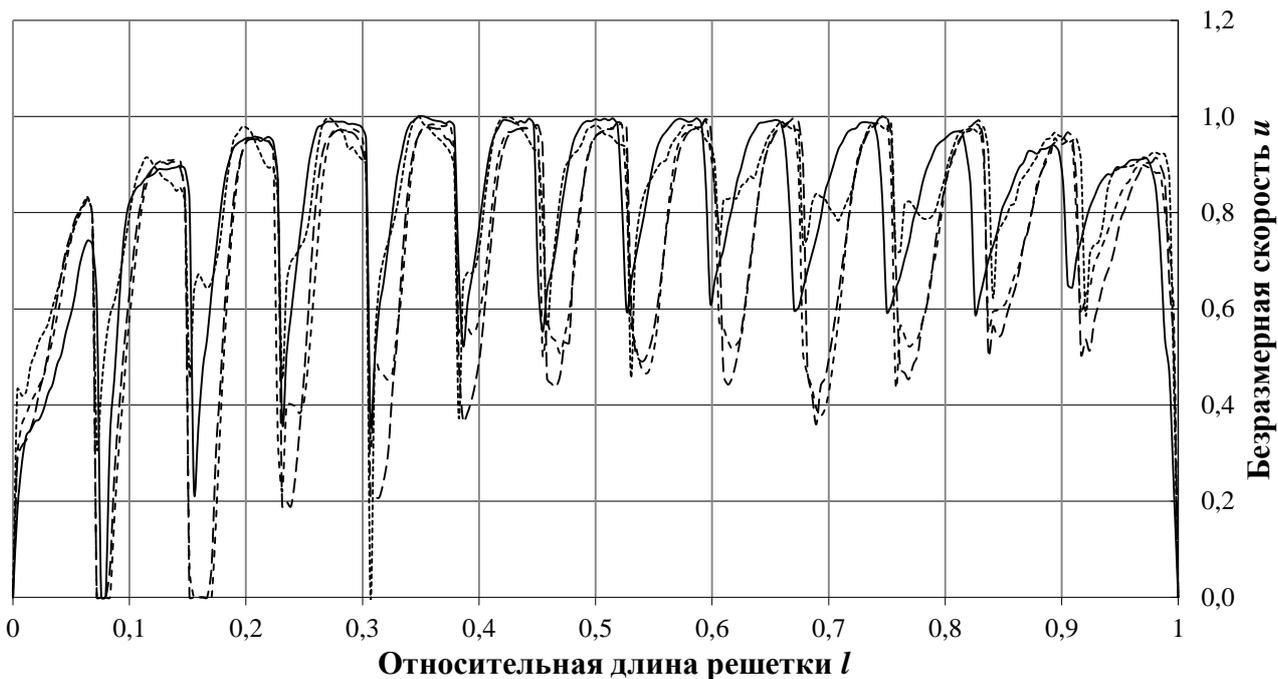
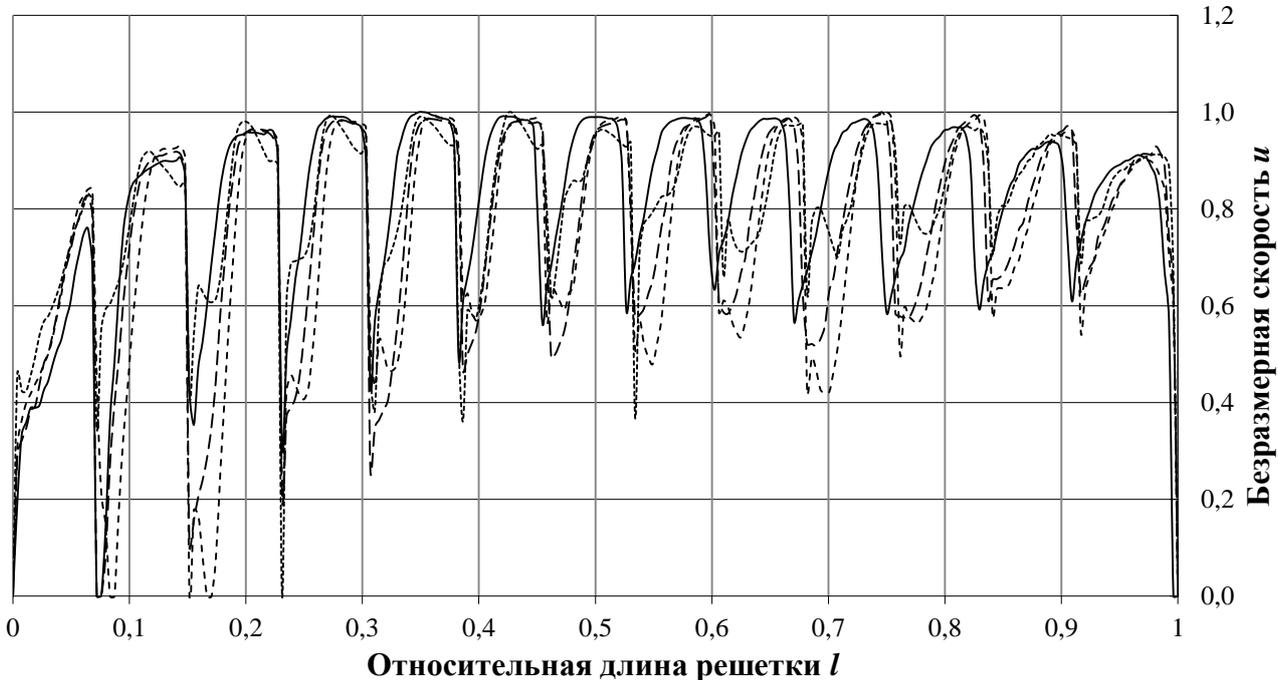


Рис. 10. Влияние угла бокового отклонения продольных ребер γ на коэффициент расхода решетки μ в зависимости от расхода через решетку G

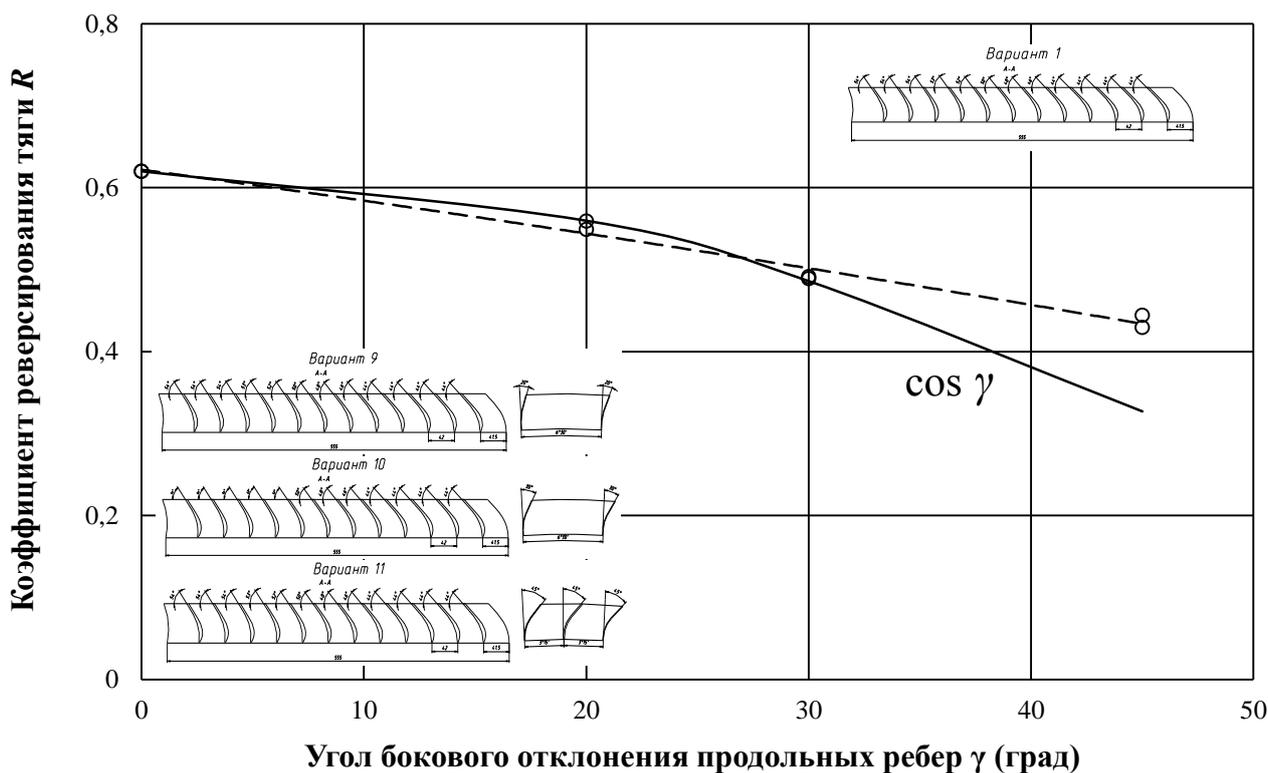


Вариант	Профиль лопаток	α (град.)	β (град.)	γ (град.)	Среднерасходная скорость на выходе (м / с)
1	<i>p</i>	var 44 – 54	90	0	36,730
9	<i>p</i>	var 44 – 54	90	20	38,826
10	<i>p</i>	var 44 – 54	90	30	41,903
11	<i>p</i>	var 44 – 54	90	45	56,703



Вариант	Профиль лопаток	α (град.)	β (град.)	γ (град.)	Среднерасходная скорость на выходе (м / с)
1	<i>p</i>	var 44 – 54	90	0	56,619
9	<i>p</i>	var 44 – 54	90	20	60,848
10	<i>p</i>	var 44 – 54	90	30	65,804
11	<i>p</i>	var 44 – 54	90	45	88,055

Рис. 11–12. Влияние угла бокового отклонения продольных ребер γ на профили безразмерных скоростей на выходе их модельных решеток



Вариант	Профиль лопаток	— кос γ ○ профиль p const — — — профиль r const			Среднерасходная скорость на выходе (м / с)
		α (град.)	β (град.)	γ (град.)	
1	p	var 44 – 54	90	0	36,730 - 56,619
9	p	var 44 – 54	90	20	38,826 - 60,848
10	p	var 44 – 54	90	30	41,903 - 65,804
11	p	var 44 – 54	90	45	56,703 - 88,055

Рис. 13. Зависимость коэффициента реверсирования от угла бокового отклонения продольных ребер γ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проектирование авиационных газотурбинных двигателей / В. П. Данильченко, А. М. Постников, Ю. И. Цыбизов [и др.]. Самара: Изд-во СНЦ РАН, 2008. 620 с. [V. P. Danil'chenko, A. M. Postnikov, Yu. I. Tsybizov [et al.], Design of aviation gas turbine engines, (in Russian), Samara: Publishing house: Samara scientific center of Russian Academy of science, 2008, 620 pp.]

2. Поляков В. В. Реверсивные устройства ВРД / В. В. Поляков, В. А. Голубев, О. В. Бондарев. М.: Изд-во МАИ, 1990. 47 с. [V. V. Polyakov, V. A. Golubev, O. V. Bondarev, Thrust reverser unit of the air-breathing jet engine, (in Russian), Moscow: Publishing house of MAI, 1990, 47 pp.]

3. Старцев Н. И. Конструкция и проектирование реверсивных устройств ГТД. Самара: Изд-во Самарского университета, 2016. 148 с. [N. I. Startsev, Construction and design of thrust reverser units of GTE, (in Russian), Samara: Publishing house of Samara University, 2016, 148 pp.]

ОБ АВТОРЕ

ВАРСЕГОВ Вадим Львович, доц. каф. реактивных двигателей и энергетических установок. Дипл. инж.-механик (КАИ, 1979). К-т техн. наук по мат. моделир. внешней аэродинамики ТРДД (КАИ, 2010). Иссл. в обл. мат. и числ. моделир. задач газодинамики.

METADATA

Title: Influence of trailing edges displacement angle of longitudinal ribs on gas-dynamics characteristics of cascades of thrust reverser unit located in bypass duct of bypass turbofan engine.

Authors: V. L. Varsegov

Affiliation: Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev — KAI (KNRTU-KAI)

Email: varsegov@mail.ru.

Language: Russian.

Source: Vestnik UGATU (scientific journal of Ufa State Aviation Technical University), vol. 21, no. 1 (75), pp. 80-90, 2017.
ISSN 2225-2789 (Online), ISSN 1992-6502 (Print).

Abstract: Experimental research of influence of the trailing edges displacement angle of the longitudinal ribs γ on the values of the reverse thrust R produced by the cascade and cascade flow rate coefficient μ was carried out. The re-searches were carried out for cascades with variable blade angle by the cascade length $\alpha = \text{var}$ from 44 to 54 degrees and with a profiled blade cross-section.

Key words: bypass turbofan engine, cascade-type thrust reverser unit, displacement of the longitudinal ribs.

About authors:

VARSEGOV, Vadim L'vovich, Assoc. Prof., Dept. of Jet Engines and Power Systems. Dipl. Mechanical Engineering (KAI, 1979). Cand. of Tech. Sci. (KAI, 2010).