

©Емец Н.В., Ищенко Г.И., Ищенко М.Г.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ФРЕЗЕРОВАНИЯ ПРОФИЛЯ ЛОПАТОК ПАРОВЫХ ТУРБИН**

### **1. Актуальность вопроса**

Лопаточный аппарат паровых турбин характеризуется, кроме сложности конструкции, большой трудоемкостью изготовления. В среднем его трудоемкость составляет 30-35% общей трудоемкости изготовления турбины. Поэтому совершенствованию операций изготовления элементов лопатки (рабочего профиля, хвоста и головки) уделялось ранее и в настоящее время, повышенное внимание технологов и исследователей. В настоящее время для обработки рабочего профиля лопаток используется различное технологическое оборудование, в частности, фрезерные станки, работающие с применением копиров, или станки, в которых управление обработкой выполняют системы ЧПУ. Вопросы точности обработки в обоих вариантах ввиду многофакторности процесса еще до конца не изучены. В связи с этим тему в указанной постановке следует считать актуальной. Для лопаток больших габаритов паровых турбин вопрос изучается впервые.

### **2. Постановка задачи**

Цель исследования – статистическими методами установить точность фрезерования рабочего профиля лопаток на станках разных конструкций и на этой основе оптимизировать операцию и выдать рекомендации по модернизации оборудования.

### 3. Изложение основного материала

Ниже описаны результаты статистического исследования точности рабочего профиля лопаток паровых турбин после фрезерной операции. Лопатки изготавливаются на Харьковском турбинном заводе. Материал лопаток – легированная сталь 15X11МФШ по ГОСТ 18968-83.

Контрольные партии лопаток (в каждой по 20 штук) обрабатывались на различных фрезерных станках – моделей «Starrag» и «Forest». Длина лопатки – 1103 мм.

Станок модели «Starrag» является горизонтально-фрезерным станком. Одновременно обрабатываются пять лопаток. Радиальное и осевое движение шпиндельной группы осуществляется по жесткому копиру – эталонной лопатке.

Станок модели «Forest» обрабатывает одновременно четыре лопатки, установленные в вертикальном положении. Движение шпинделей с фрезами на этих станках выполняется по командам системы ЧПУ.

Технологический процесс обработки названных лопаток предусматривает (до фрезерования рабочего профиля) ряд операций подготовки технологических баз для фрезерной операции. Базами на обеих фрезерных станках являются кольцевые трапецеидального вида поверхности хвоста лопатки «елочные пазы», они же и являются конструкторскими базами при установке лопатки на ротор и центровые отверстия в головке лопатки.

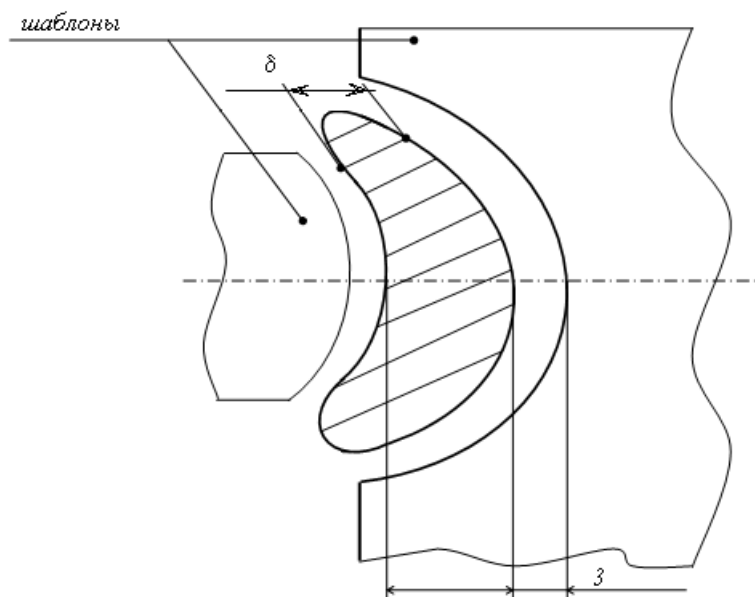
При подготовке этих баз на токарных операциях в качестве исходных баз используется фрезерованные площадки у хвоста и на торце головки заготовки лопатки.

В исследуемых партиях лопаток контролировались следующие параметры сечений рабочего профиля (рис. 1):

$C$  – максимальная толщина рабочего профиля;

$d$  – толщина выходной кромки профиля;

$Z$  – зазоры между профилем и шаблонами, характеризующие пространственное расположение профиля.



**Рис. 1** – Контролируемые размеры профилей

При измерениях лопатка устанавливалась в специальном приспособлении в базах «хвост и центр»; размеры «С» и «д» определялись штангенциркулем, а зазоры – щупом.

При обработке опытных данных по двум станкам были выполнены следующие операции:

- определены отклонения величин «С» и «д» от их теоретических (окончательных после операции шлифования) значений, средние значения этих отклонений  $\Delta C$  и  $\Delta \delta$  и их размах (табл. 1, табл. 2);

- определены значения размахов величин зазоров между рабочим профилем и шаблонами (см. табл. 1, табл. 2);

- построены графики отклонений  $\Delta C$  и  $\Delta \delta$  в различных сечениях одной лопатки (выполнено для нескольких лопаток) (рис. 2, рис. 3).

Установлено, что:

- среднее значение величины  $\Delta C$  и  $\Delta \delta$  (фактический припуск на две стороны под последующую операцию шлифования) составляет: для данных по станку «Forest» –  $\Delta C = 1,51$  мм,  $\Delta \delta = 1,33$  мм, а по станку «Starrag» –  $\Delta C = 0,96$  мм,  $\Delta \delta = 1,39$  мм;

– колебание  $\Delta C$  в пределах рабочего профиля (рассматривались данные для всех сечений): по станку «Starrag» – от 0,5 до 1,05 мм; по станку «Forest» – от 0,43 до 1,17 мм;

– по периметру сечений профиля припуск на шлифование неодинаков и составляет: по станку «Starrag» минимальная величина – 0,3 мм, максимальная – 1,2 мм, а по станку «Forest» минимальная величина – 0,45 мм, максимальная – 0,8 мм;

– среднее значение размаха величины  $\Delta C$  составляет: при фрезеровании на «Starrag» – 0,792 мм; при фрезеровании на «Forest» – 0,7 мм;

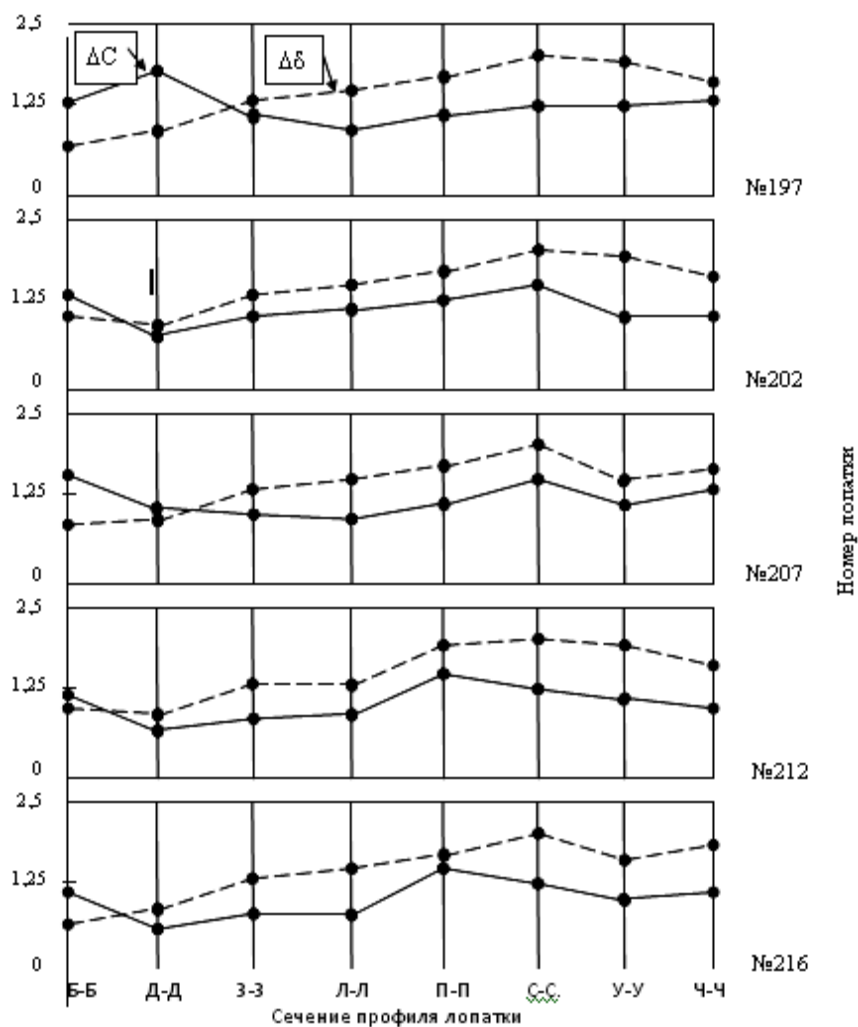
– разброс величин  $\Delta C$  и  $\Delta \delta$  не связан с расположением сечений профиля вдоль от лопатки.

Как видно из расчетов, после фрезерной операции припуск на шлифование профиля неравномерен по периметру сечений и вдоль оси лопатки, что, исходя из теории формирования размеров при механической обработке, является результатом неточности заготовки и погрешностей работы систем управления.

**Таблица 1** – Статистические характеристики отклонений размеров рабочего профиля после фрезерования на станке «Starrag»

№ лопатки	Среднее значение $\Delta C$	Размах значений $\Delta C$	Среднее значение $\Delta \delta$	Размах значений $\Delta \delta$	Размах зазоров
197	1,04	1,05	1,375	1,1	0,5
198	1,05	0,90	1,49	1,2	0,5
199	0,93	0,80	1,275	0,90	0
200	0,92	0,80	1,337	1,30	0,50
201	0,90	0,60	1,425	1,10	0
202	1,09	0,60	1,331	0,85	0
203	0,94	0,90	1,56	1,65	0,50
204	0,85	0,85	1,17	1,25	0,50
205	0,85	0,70	1,42	0,85	0
206	1,0	0,90	1,54	1,45	0
207	1,02	0,70	1,34	0,90	0
208	0,90	0,80	1,35	1,20	0,50
209	1,05	0,70	1,40	1,10	0
210	1,09	0,50	1,325	1,40	0,50
211	0,97	0,60	1,44	1,0	0,50
212	0,89	0,90	1,33	1,25	0
213	0,86	0,95	1,52	1,45	0,50
214	0,90	0,80	1,27	1,25	0

215	0,87	0,90	1,36	1,40	0
216	1,08	0,90	1,61	1,50	0,50
Среднее значение по партии	0,96	0,792	1,39	1,20	

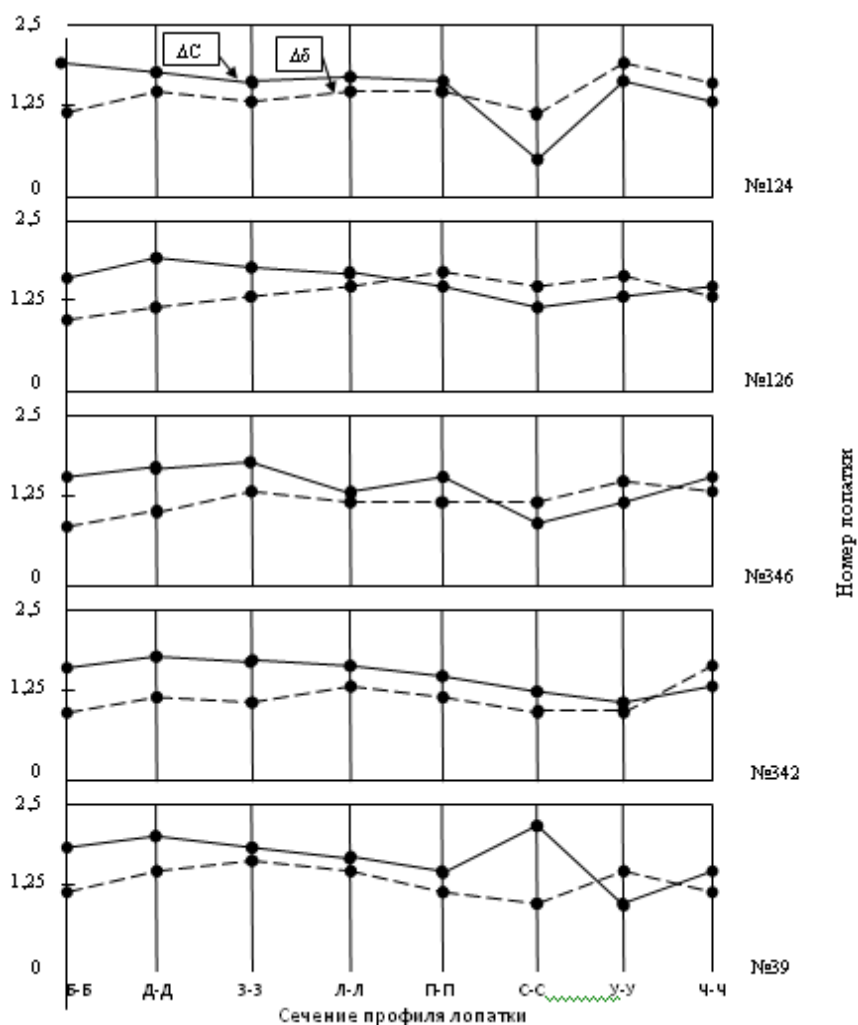


**Рис. 2** – Изменение отклонений размеров «С» и « $\delta$ » от теоретических после фрезерования рабочего профиля на станке «Starrag»

**Таблица 2** – Статистические характеристики отклонений размеров рабочего профиля после фрезерования на станке «Forest»

№ лопатки	Среднее значение $\Delta C$	Размах значений $\Delta C$	Среднее значение $\Delta \delta$	Размах значений $\Delta \delta$	Размах зазоров
122	1,37	0,47	1,29	0,44	0,50
121	1,34	1,17	1,19	0,46	0,50
124	1,56	1,11	1,39	0,40	0,70
125	1,42	0,76	1,24	0,36	0,50
127	1,46	0,37	1,30	0,48	1,0
126	1,48	0,77	1,30	0,46	0,50

128	1,59	0,54	1,38	0,58	0,50
123	1,58	0,64	1,40	0,46	0,50
345	1,34	0,57	1,10	0,42	0,50
347	1,43	0,50	1,28	0,48	0,50
348	1,58	0,57	1,34	0,54	0,50
346	1,48	0,84	1,39	0,60	0,50
344	1,36	0,43	1,30	0,68	0,50
343	1,53	0,54	1,33	0,48	0,50
342	1,70	0,52	1,33	0,58	0,50
341	1,57	0,47	1,37	0,66	0
42	1,44	0,46	1,47	0,55	0,50
41	1,68	0,72	1,50	0,51	1,10
39	1,66	1,30	1,40	0,36	1,10
40	1,64	1,15	1,43	0,46	0,60
Среднее значение по партии	1,51	0,7	1,33	0,498	



**Рис. 3** – Изменение отклонений размеров «C» и « $\delta$ » от теоретических после фрезерования рабочего профиля на станке «Forest»

## **Выводы**

1. Припуск, остающийся после фрезерования рабочего профиля, под шлифовальную операцию не равномерен. Его колебание доходит до 52% от среднего значения (станок «Starrag») и до 28% от среднего значения (станок «Forest»).

2. Точность операции фрезерования рабочего профиля выше при использовании модернизированных фрезерных станков с ЧПУ;

Резервом повышения точности фрезерования профиля является пересмотр и оптимизации подготовки баз «елочного паза» и центрального отверстия) под рассматриваемую операцию.

3. Таким образом, более качественная обработка установочных баз и модернизация копировально-фрезерных станков на управление от систем ЧПУ позволяет улучшить точность и качество фрезерования под шлифовальную операцию и уменьшить припуски на шлифовку.

## **Список использованных источников:**

1. Косилова А. Г. Справочник технолога-машиностроителя. Т. 2 / А. Г. Косилова, Р. К. Мещеряков. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. Машиностроение, 1985. – 568 с.

2. Пособие по прогрессивной фрезерной обработке / ООО «Прамет». – М.: Прамет, 2009. – 344с.: ил.

3. Долматовский Г. А. Справочник технолога по обработке металлов резанием / Г. А. Долматовский. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Машгиз, 1962. – 1240с.

*Емец Н.В., Ищенко Г.И., Ищенко М.Г.* «Исследование точности фрезерования профиля лопаток паровых турбин».

В статье приведены результаты статистического исследования точности размеров рабочего профиля лопаток паровых турбин, в частности – максимальной толщины профиля, толщины выходной кромки и криволинейных

участков профиля (по величине зазоров между шаблоном и профилем) после операции фрезерования.

Показано, что указанные размеры выполняются с отклонением от номинальных (средних) значений.

Определены величины отклонений при использовании во фрезерной операции фрезерных станков фирм «Starrag» и «Forest». Первые работают по копиру, вторые – с управлением от ЧПУ.

Отмечено, что перспективным направлением повышения точности фрезерования рабочего профиля является совершенствование операций подготовки баз под рассматриваемую операцию.

**Ключевые слова:** лопатка, рабочий профиль, установочные базы, станок «Starrag», станок «Forest», система ЧПУ, обработка профиля.

**Ємець Н.В., Іщенко Г.І., Іщенко М.Г.** «Дослідження точності фрезерування профілю лопаток парових турбін».

У статті наведені результати статистичного дослідження точності розмірів робочого профілю лопаток парових турбін, зокрема – максимальної товщини профілю, товщини вихідної кромки та криволінійних ділянок профілю (за величиною зазорів між шаблоном і профілем) після операції фрезерування.

Показано, що зазначені розміри виконуються з відхиленням від номінальних (середніх) значень.

Визначено величини відхилень при використанні для фрезерної операції фрезерних верстатів фірм «Starrag» і «Forest». Перші працюють по копіру, другі – з управлінням від ЧПК.

Відзначено, що перспективним напрямком підвищення точності фрезерування робочого профілю є вдосконалення операцій підготовки баз під розглянуту операцію.

**Ключові слова:** лопатка, робочий профіль, установочні бази, верстат «Starrag», верстат «Forest», система ЧПК, обробка профілю.



*Yemets N.V, Ishchenko G.I., Ishchenko M.G.* "Investigation of precision milling profile steam turbine blades.

The results of statistical analysis of dimensional accuracy of the working profile of the blades of steam turbines, in particular - with a maximum thickness profile, the thickness of the output edges and curved sections of the profile (for the gap between the pattern and profile), after the milling operation.

Shown that these dimensions are satisfied with the deviation from the nominal (average) values.

The values of deviations in the use of a milling operation of milling machines companies «Starrag» and «Forest». The first work on the copy machine, the second – controlled by the CNC.

It was noted that a promising direction to improve the accuracy of milling work profile is to improve operations, training bases for the operation in question.

**Key words:** blade, working profile, mounting base, the «Starrag» machine, the «Forest» machine, CNC, the profile's milling.

Стаття надійшла до редакції 24 листопада 2010 року