

УДК 621.165.7

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧИХ ЛОПАТОК НА ДИСКЕ РОТОРА
ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ ПО СТАТИЧЕСКИМ МОМЕНТАМ И МАССАМ
ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТ ПО ПЕРЕОБЛОПАЧИВАНИЮ
DISTRIBUTION OF THE WORKING BLADES ON THE ROTOR DISK OF
A STEAM TURBINE BY STATIC MOMENTS AND MASSES
WHEN PERFORMING WORK ON RE-BLADING**

Ал-р, П. Имбро, А-й, П. Имбро

Научный руководитель – Н.В. Пантелей, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

nvpanteley@tut.by

A. Imbro, A. Imbro

Supervisor – N. Panteley, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в статье рассматривается распределение рабочих лопаток на диске ротора паровой турбины по статическим моментам и массам при выполнении работ по переоблопачиванию, который позволяет обеспечить снижение уровня дисбаланса на роторе.*

***Annotation:** the article considers the distribution of the working blades on the rotor disk of a steam turbine by static moments and masses when performing work on re-blading, which allows reducing the level of imbalance on the rotor.*

***Ключевые слова:** паровая турбина, переоблопачивание, рабочие лопатки, ротор.*

***Key words:** steam turbine, re-blading, working blades, rotor.*

Введение

На сегодняшний день одной из ремонтных операций по замене лопаток при проведении входного контроля являются работы по распределению рабочих лопаток на диске по статическим моментам и массам. Лопатки паровых турбин различаются по конструкции, размером, типом хвостов, по видам их посадки и способом закрепления в роторе. Примененные в указанных лопатках конструкции хвостов должны обеспечивать:

- надежное закрепление лопаток на роторе по заданной посадке;
- заданный по чертежу шаг, гарантирующий расчетные проходные сечения паровых каналов, полученных при сопряжении лопаток после облопачивания;
- заданные по чертежу аксиальное и радиальное (тангенциальное) положение лопаток на диске.

Наиболее распространенные виды посадки хвостов лопаток:

- во внутренней кольцевой Т-образный паз диска;
- на наружный грибовидный обод диска;
- на вильчатый гребень диска;
- в елочные торцевые (осевые) пазы диска.

Основная часть

Вес лопаток, в особенности с длиной активной части более 500 мм; неравновесность лопаток может привести к появлению небаланса ротора турбины. Лопатки так же даже одного ряда могут иметь между собой значительную разницу в весе, которая при длинных лопатках доходит до больших величин. Кроме того, имея одинаковый вес всей лопатки в целом, разные лопатки могут иметь различный вес отдельных сечений лопатки, т.е. иметь массу профиля, неодинаково расположенную по высоте этих лопаток. Посадка таких лопаток на диск приводит к небалансу диска, который устранить очень трудно. Обеспечение одинаковых весов для всех лопаток данного ряда или установление определенного предела колебание весов в лопатках одного ряда требует взвешивание каждой лопатки.

Снижение уровня дисбаланса достигается путем установки лопаток, обладающих одинаковой или близкой величиной статического момента и(или) массы в диаметрально противоположных точках диска.

Для уменьшения дисбаланса облопаченного диска определению статического момента подлежат следующие рабочие лопатки турбин:

- для турбин с частотой вращения 3000 об/мин – с длиной активной части ≥ 240 мм;
- для турбин с частотой вращения 1500 об/мин – с длиной активной части ≥ 400 мм.

Так же лопатки с длиной активной части до 90 мм устанавливаются на диски без развешивания, за исключением лопаток регулирующих ступеней, которые развешиваются по массам на торговых весах, а лопатки с длиной активной части более 90 мм и до 240 мм развешиваются по массам на торговых весах.

Лопатки большей длины подлежат взвешиванию на специальных моментных весах (рисунок 2).

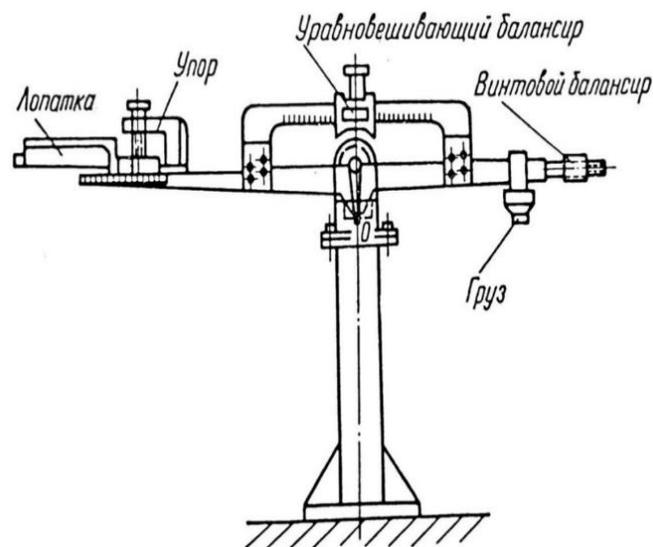


Рисунок 2 – Моментные весы [2]

Моментные весы позволяют подобрать лопатки с весом, одинаково распределенным по длине лопатки. Шкала этих весов используется не для определения абсолютных весов, а для сравнения весов отдельных лопаток с одной из них, принимаемой за контрольную.

Для лопаток турбин с частотой вращения 3000 об/мин допускается следующий дисбаланс (таблица 1).

Таблица 1 – Допускаемый дисбаланс [3]

Длина активной части, мм	Дисбаланс, г·мм
241 – 400	20
401 – 600	30
601 – 800	40
801 и более	50

В случае превышения допускаемого дисбаланса при облопачивании может быть проведена подшлифовка лопаток до размеров в пределах допусков по чертежу или замена их лопатками требуемого статического момента.

Разность статических моментов между двумя диаметрально противоположными пакетами лопаток не должна превышать 50 г·мм, при этом разброс в смежных пакетах также не должен превышать 50 г·мм.

При определении масс лопаток на торговых весах разность в массах трех-четырех противоположных пакетов по окружности диска не должна превышать 50 г.

Для определения статических моментов лопаток следует выбрать из 10–15 взвешенных на торговых весах лопаток одну средней массы, установить ее на моментных весах до упора, закрепленного на максимальном плече. Уравновесить лопатку грузом и винтовым балансиром так, чтобы уравновешивающий балансир и стрелка были на нуле ("0").

Снять лопатку с весов и замаркировать ее знаком "0". Установить очередную лопатку на весах до упора, передвижением уравновешивающего балансира вернуть стрелку весов на нуль. При перевесе лопатки маркировать ее знаком "+" (плюс), при перевесе груза – знаком "-" (минус). После знака "+" или "-" маркировать на лопатке число, показывающее количество делений, на которое был передвинут уравновешивающий балансир от нулевого деления. По окончании определения статических моментов и маркирования всех лопаток начертить схему распределения лопаток на диске (таблица 2, рисунок 3)

Лопатки с равными или близкими моментами и одинаковыми знаками расположить диаметрально противоположно и равными количествами.

На схеме пронумеровать лопатки порядковыми номерами и соответственно замаркировать этими номерами лопатки. Подготовленные таким образом лопатки будут при облопачивании набираться на диск согласно порядковым номерам.

Таблица 2 – Распределения лопаток на диске ротора по статическим моментам [1]

1	2	3	1	2	3
1	3	-9	48	1	-8
2	23	-23	49	2	-2
3	4	0	50	15	0
4	5	-12	51	86	-12
5	6	-6	52	80	-7
6	7	-10	53	75	-15
7	8	-4	54	22	-3
8	9	-6,5	55	29	-6
9	17	13,5	56	10	13
10	11	0,5	57	16	1
11	12	-2	58	33	-13
12	13	-2,5	59	35	-3
13	14	3	60	41	3,5
14	18	-16	61	55	-9,5
15	58	-11	62	19	-10,5
16	20	-4,5	63	27	-4,5
17	21	-2	64	70	-2
18	24	-6	65	48	6
19	25	-7	66	54	-9
20	36	-5	67	26	-3
21	28	17,5	68	60	-6,5
22	68	-5	69	66	-4
23	31	3	70	76	10
24	32	1	71	39	0
25	37	-10	72	44	-10
26	61	4	73	34	17
27	40	4,5	74	57	6,5
28	42	0	75	43	0
29	85	-13	76	47	-11
30	45	-11	77	56	-7
31	46	0	78	51	0
32	49	4	79	87	4
33	50	-10	80	67	-16
34	30	-5,5	81	52	-1
35	94	-4	82	62	3,5
36	72	-4	83	73	-4
37	69	1	84	90	1
38	59	-11,5	85	63	-11,5
39	82	-8,5	86	77	-9
40	71	6	87	78	5
41	64	9	88	84	-9,5
42	74	0	89	81	2
43	91	-9,5	90	93	-5
44	38	-17	91	53	-14
45	83	6	92	92	0
46	89	0	93	88	12
47	65	-3	94	79	-13

1 – номера лопаток, замаркированных при взвешивании; 2 – порядковые номера лопаток для набора на диск; 3 – результаты взвешивания (статические моменты лопаток, Г·мм).

Лопатки, у которых определены массы взвешиванием на торговых весах, группировать по равным или близким массам. Вычертить схему распределения лопаток на диске группами по массе. Лопатки с равными или близкими массами расположить на схеме диаметрально противоположно и равными количествами, пронумеровать на схеме и замаркировать этими номерами лопатки для сборки на диск в порядке номеров.

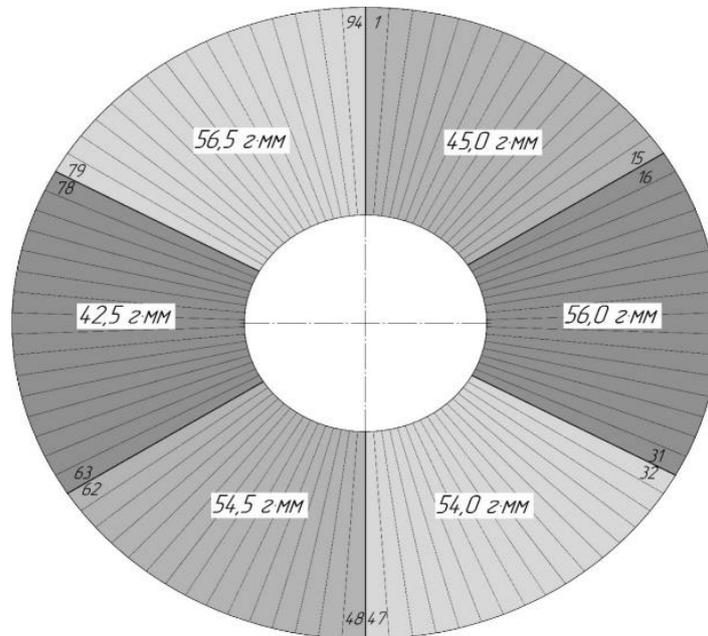


Рисунок 3 – Схема распределения лопаток на диск по пакетам [1]
Примечание: 2 пакета по 15 лопаток и 4 пакета по 16 лопаток

Распределением рабочих лопаток на диске по статическим моментам и массам удастся получить равномерное распределение веса лопаток на диске, благодаря чему значительно уменьшается неравновесность диска и облегчаются условия балансировки, а в ряде случаев при снятом диске и сведении статического небаланса облопаченного диска до нуля, даже устраняется необходимость балансировки после переоблопачивания. Выполнение данной ремонтной операции является одним из основных условий надежной работы турбоагрегатов.

Заключение

На данный момент распределение лопаток на диске по пакетам инженерно-техническими работниками производится вручную. Создание программного комплекса позволит значительно сократить трудоемкость и повысить качество ремонтных работ, связанных с заменой рабочих лопаток роторов турбоагрегатов.

Таким образом, обеспечение правильного распределения рабочих лопаток на диске ротора паровой турбины по статическим моментам и массам при выполнении работ по переоблопачиванию позволит снизить дисбаланс и как следствие уровень вибросостояния подшипниковых опор турбоагрегата, а так же достичь надежной работы агрегата в целом.

Литература

1. Ремонт паровых турбин: учебное пособие для ВУЗов / В.Н. Родин [и др.]; под общ. ред. Ю.М. Бродова и В.Н. Родина. – Екатеринбург: ГОУ УГТУ-УПИ, 2002. – 296 с.
2. СТП 34.30.605 (РД 34.30.605) Технологическая инструкция по замене лопаток паровых турбин. – М.: 1987. – 64 с.
3. Ремонт паровых турбин / В.А. Молочек. – М: Энергия, 1968. – 376 с.