

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Кафедра «Авиационные двигатели»

**Дисциплина: «Конструкция и проектирование авиационных
двигателей и энергетических установок»**

Отчет к лабораторной работе №2

Тема: Анализ статической прочности дисков ГТД

Вариант № 7

Выполнили студенты гр. АД-18-1с
Каткова Елена Антоновна
Конюшевская Ксения Валерьевна

Работа принята _____

2023

1. Методика расчетной оценки статической прочности диска.

Запас прочности диска по разрушающей частоте вращения определяется по формуле:

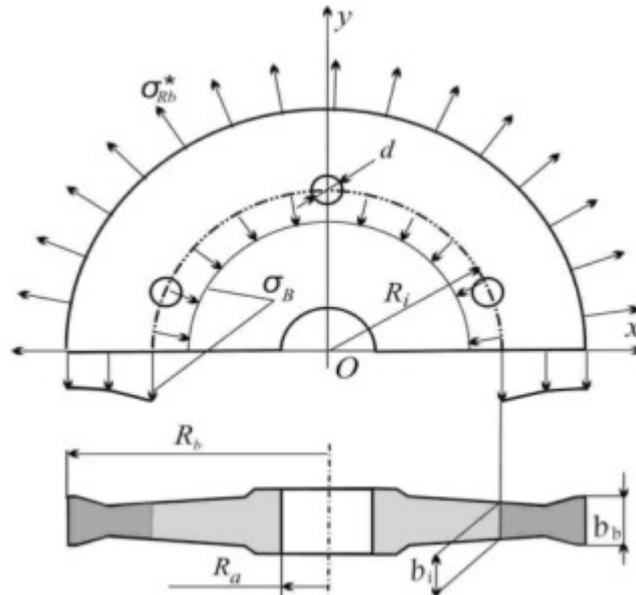
$$K_b = \frac{\omega_{разр}}{\omega} = \frac{n_{разр}}{n}$$

Напряжения, возникающие в диске:

Контурная нагрузка на рабочей частоте вращения:

На наружном контуре диска от действия центробежных сил от лопаток и выступов диска:

$$\sigma_{Rb} = \frac{(P_{ui} + P_u^{ad})Z}{2\pi R_b b_b}$$



Коэффициент запаса по разрушающей частоте вращения диска при разрушении по цилиндрическому сечению:

$$K_{b2} = \sqrt{\frac{\int_{R_i}^{R_b} \sigma_B b dr + \sigma_{Bi} R_i b_i}{\sigma_{Rb} R_b b_b + \rho \omega^2 \int_{R_i}^{R_b} b r^2 dr}}$$

$K_b > 1,4$

2. Подготовка исходных данных для расчета диска.

В данном пункте необходимо привести все материалы по подготовке исходных данных. Исходный профиль диска. Схематизированный симметричный профиль диска. Таблица с геометрическими параметрами диска. График изменения температуры по радиусу диска. Таблица с температурами и свойствами материала диска в расчетных сечениях. Данные для определения контурной нагрузки (масса лопатки, радиус центра тяжести лопатки, масса выступа диска, радиус центра тяжести выступа диска).

Исходные данные:

Частота вращения ротора: $n = 11600 \text{ об/мин.}$

Радиус рабочего колеса: $R_n = 281 \text{ мм.}$

Число лопаток: $Z = 85.$

Температура обода диска: $T = 590 \text{ К.}$

Материал диска: ВТЗ-1.

$\rho = 4500 \text{ кг/м}^3.$

Данные для определения контурной нагрузки:

Масса лопатки: $m_l = 11 \text{ г.}$

Радиус центра тяжести лопатки: $R_{цмл} = R_b + \frac{1}{3}h = 237,5 + \frac{1}{3} \cdot 39 = 250,5 \text{ мм.}$

Масса выступа диска:

$$m_b = \frac{1}{2} \rho b_b \frac{\pi(R_d^2 - R_b^2)}{z} = \frac{1}{2} \cdot 4500 \cdot 24,5 \frac{3,14(0,2415^2 - 0,2375^2)}{85} = 0,0039 \text{ кг} = 3,9 \text{ г.}$$

Радиус центра тяжести выноса диска: $R_{цмвд} = (241,9 + 237,5) / 2 = 239,7.$

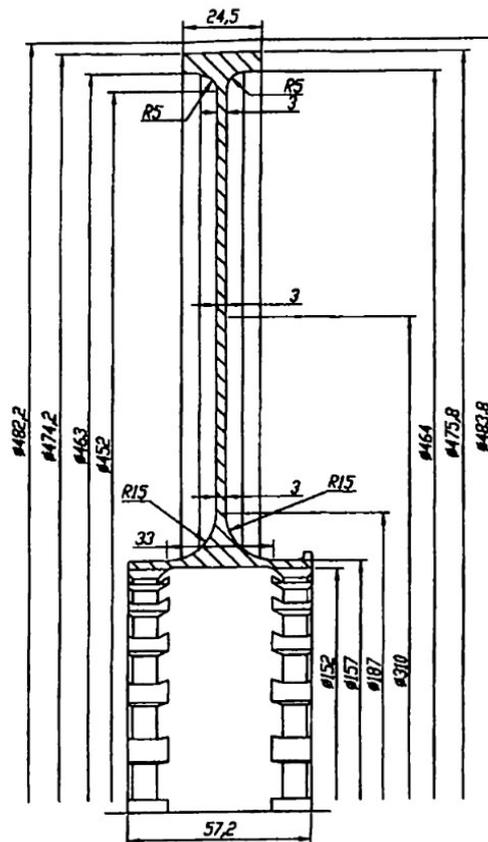


Рисунок 1 – Исходный профиль диска 7 ступени КВД

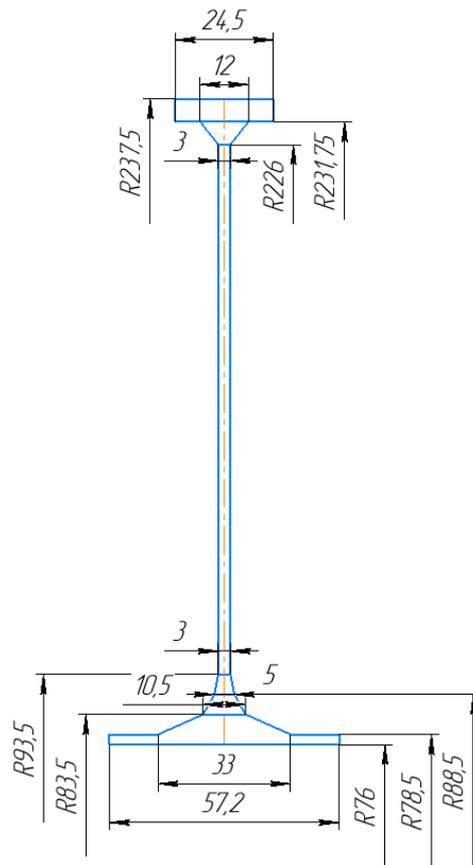
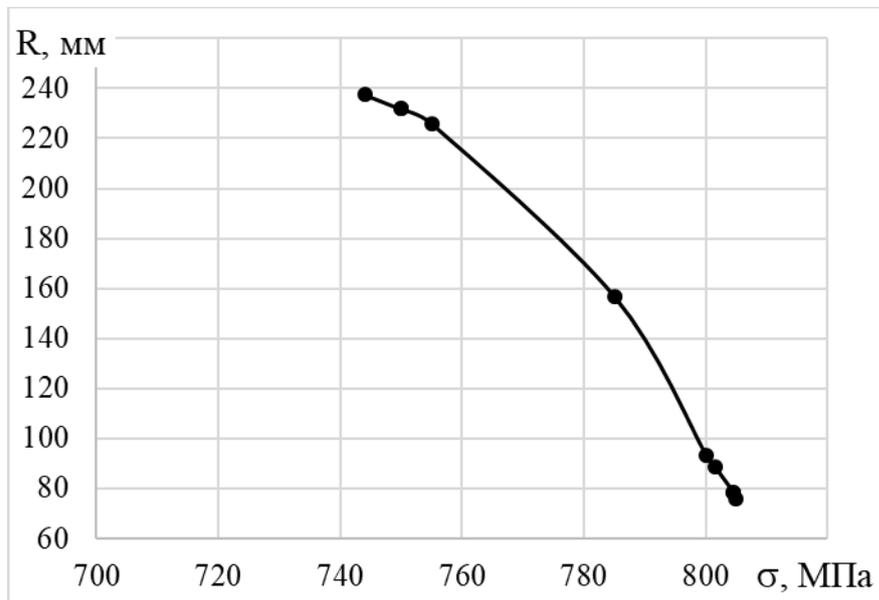
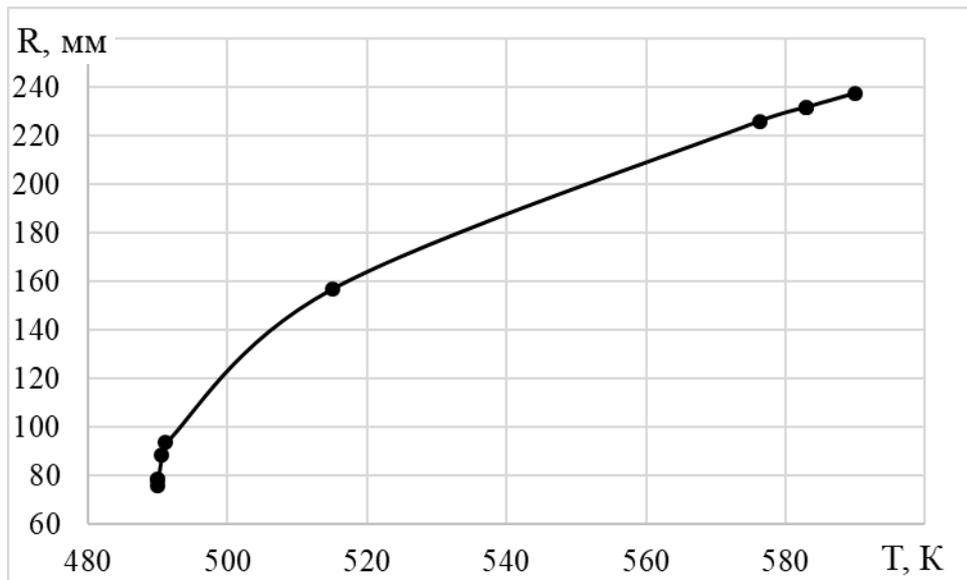


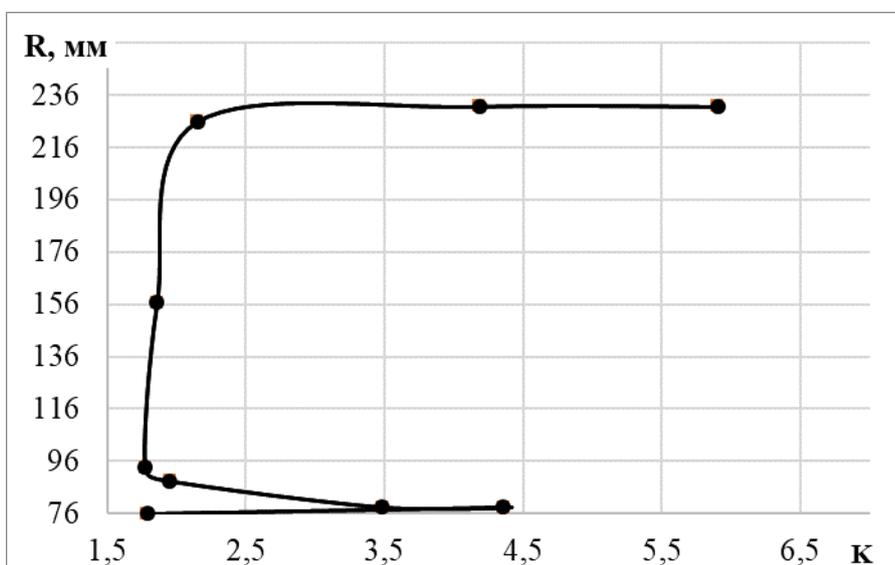
Рисунок 2 – Схематизированный симметричный профиль диска

N	R, мм	b, мм	T, К	$\sigma_{0.1}$, МПа	K
1	76	57,2	490	805	1,79
2	78,5	57,2	490,0239627	804,5	4,358
3	78,5	33	490,0239627	804,5	3,482
4	88,5	5	490,5990664	801,5	1,953
5	93,5	3	491,1741702	800	1,774
6	156,75	3	515	785	1,861
7	226	3	576,2655637	755	2,151
8	231,75	12	583,0060194	750	4,184
9	231,75	24,5	583,0060194	750	5,904
10	237,5	24,5	590	744	0



3. Расчет диска на статическую прочность. Определение коэффициента запаса статической прочности диска.

N	R, мм	K
1	76	1,79
2	78,5	4,358
3	78,5	3,482
4	88,5	1,953
5	93,5	1,774
6	156,75	1,861
7	226	2,151
8	231,75	4,184
9	231,75	5,904
10	237,5	0



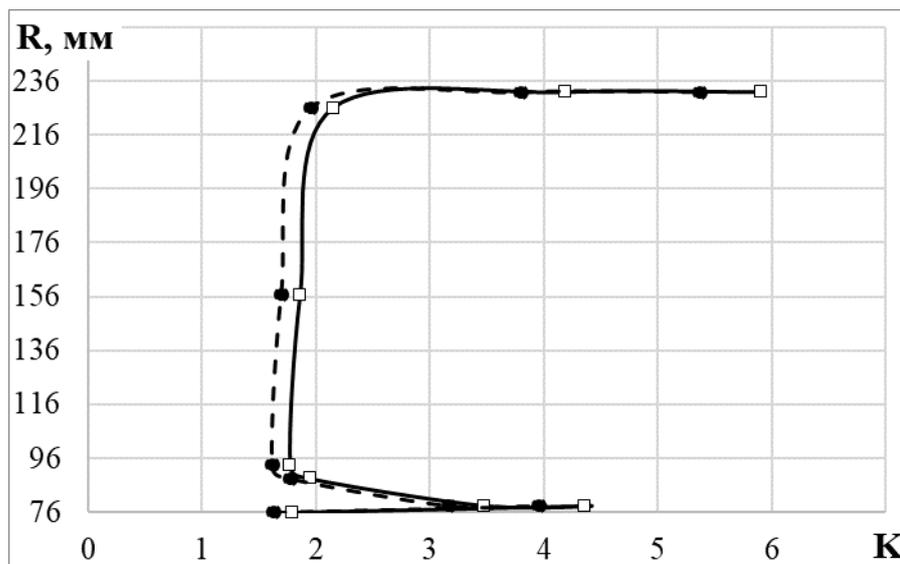
4. Выводы по расчету диска на статическую прочность.
Запас прочности превышает допустимый запас, поэтому диск ...

5. Анализ влияния конструктивных и эксплуатационных факторов на запас статической прочности диска.

5.1 Оценка влияния частоты вращения ротора на запас прочности диска.

Увеличение частоты вращения ротора на 10% до $n = 12760$ об/мин.

N	R, мм	Кисх	Кизм
1	76	1,79	1,627
2	78,5	4,358	3,962
3	78,5	3,482	3,166
4	88,5	1,953	1,775
5	93,5	1,774	1,613
6	156,75	1,861	1,692
7	226	2,151	1,955
8	231,75	4,184	3,803
9	231,75	5,904	5,368
10	237,5	0	0

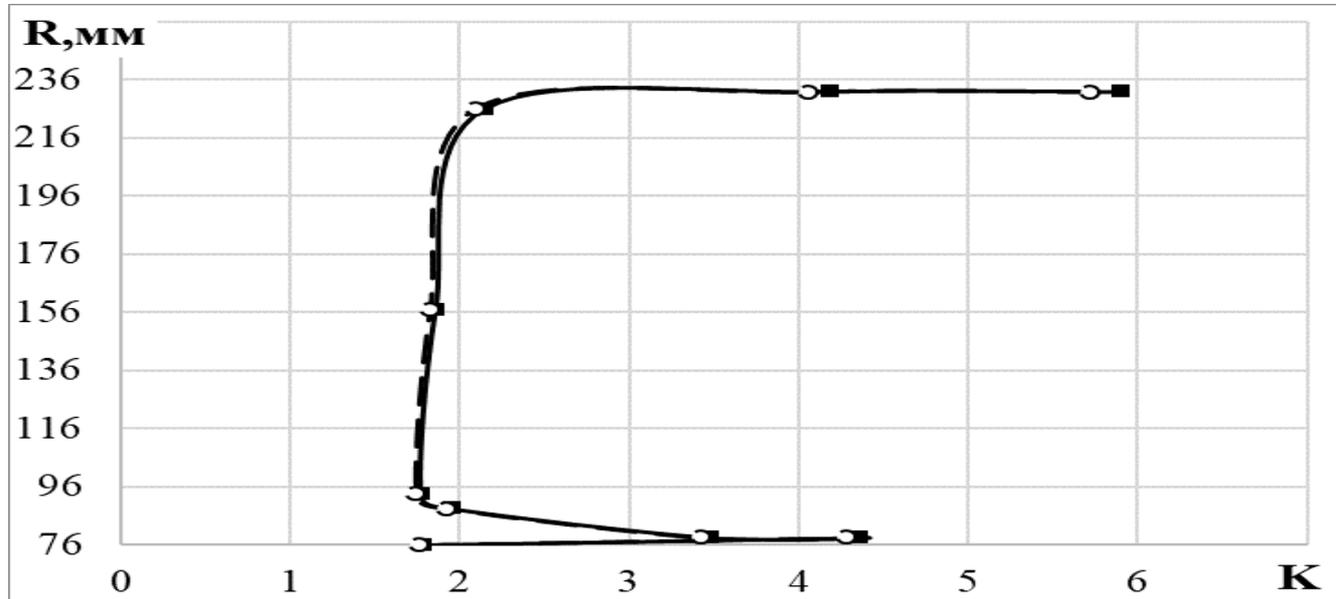


5.2 Оценка влияния массы лопатки на запас прочности диска.

При увеличении массы лопатки на 15% до $m=12,65$ г.

N	R, мм	Кисх	Кизм
1	76	1,79	1,759
2	78,5	4,358	4,279
3	78,5	3,482	3,42
4	88,5	1,953	1,916
5	93,5	1,774	1,741
6	156,75	1,861	1,822

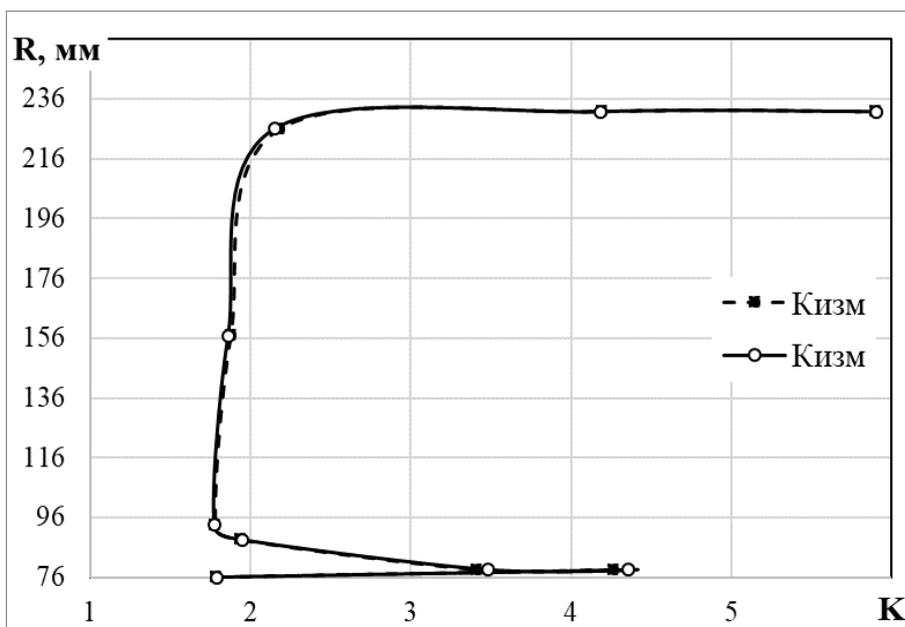
7	226	2,151	2,09
8	231,75	4,184	4,052
9	231,75	5,904	5,719
10	237,5	0	0



5.3 Оценка влияния толщины ступицы диска на запас прочности.

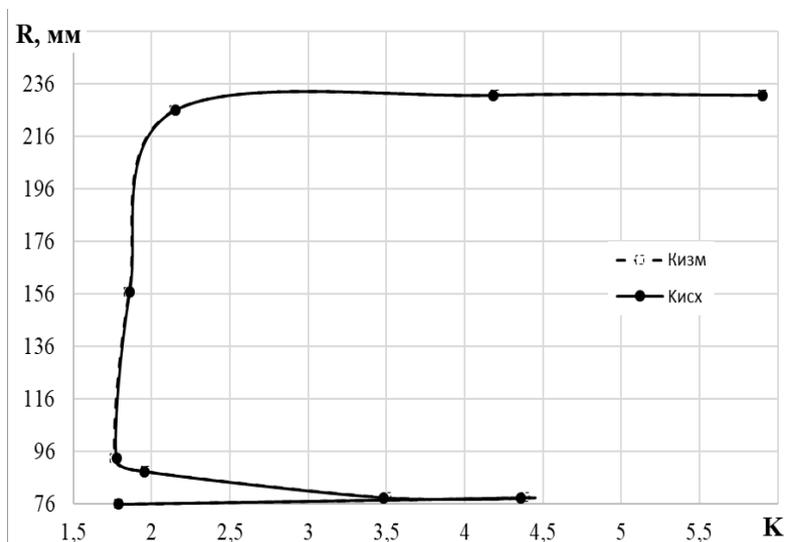
Уменьшение толщины ступицы на 5%.

N	R, мм	b, мм	K _{исх}	K _{изм}
1	76	54,34	1,79	1,784
2	78,5	54,34	4,358	4,267
3	78,5	31,35	3,482	3,417
4	88,5	4,75	1,953	1,939
5	93,5	3	1,774	1,783
6	156,75	3	1,861	1,878
7	226	3	2,151	2,185
8	231,75	12	4,184	4,197
9	231,75	24,5	5,904	5,904
10	237,5	24,5	0	0



5.4 Оценка влияния толщины полотна диска на запас прочности. Уменьшение толщины полотна на 5%.

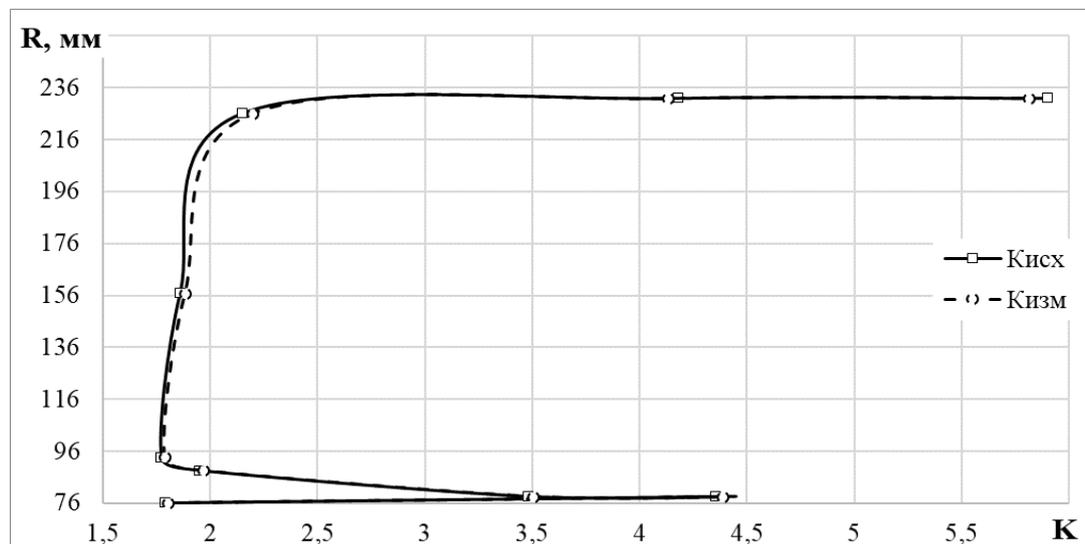
N	R, мм	b, мм	Kисх	Kизм
1	76	57,2	1,79	1,793
2	78,5	57,2	4,358	4,391
3	78,5	33	3,482	3,506
4	88,5	5	1,953	1,959
5	93,5	2,85	1,774	1,762
6	156,75	2,85	1,861	1,853
7	226	2,85	2,151	2,142
8	231,75	12	4,184	4,197
9	231,75	24,5	5,904	5,904
10	237,5	24,5	0	0



5.5 Оценка влияния толщины обода диска на запас прочности.

Уменьшение толщины обода диска на 5%.

N	R, мм	b, мм	Кисх	Кизм
1	76	57,2	1,79	1,803
2	78,5	57,2	4,358	4,389
3	78,5	33	3,482	3,508
4	88,5	5	1,953	1,968
5	93,5	3	1,774	1,788
6	156,75	3	1,861	1,884
7	226	3	2,151	2,2
8	231,75	11,4	4,184	4,133
9	231,75	23,275	5,904	5,815
10	237,5	23,275	0	0

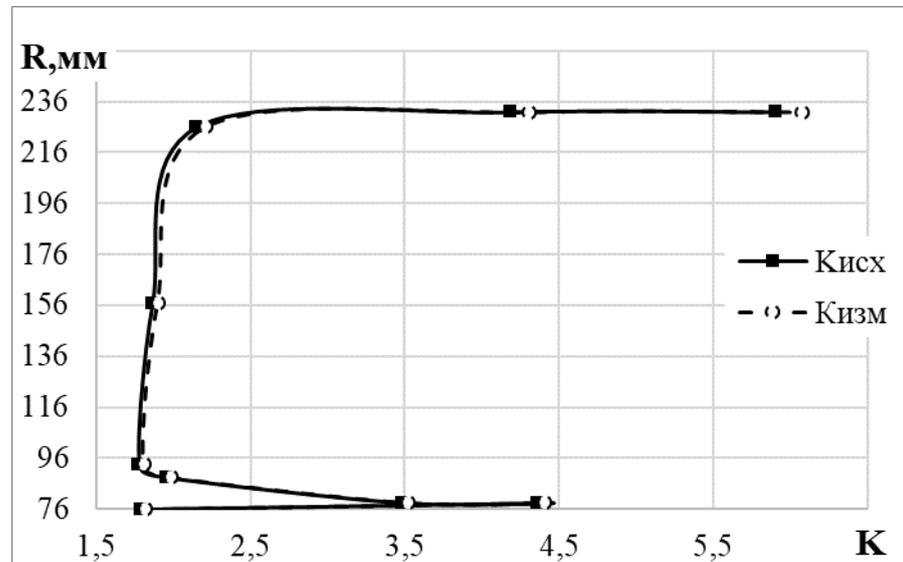


5.6 Оценка влияния температуры диска на запас прочности.

Уменьшение температуры диска на 10% с T=590 К до T=531 К.

N	R, мм	T, К	Кисх	Кизм
1	76	431	1,79	1,82
2	78,5	431,0239627	4,358	4,405
3	78,5	431,0239627	3,482	3,523
4	88,5	431,5990664	1,953	1,986
5	93,5	432,1741702	1,774	1,806
6	156,75	456	1,861	1,898
7	226	517,2655637	2,151	2,212
8	231,75	524,0060194	4,184	4,308

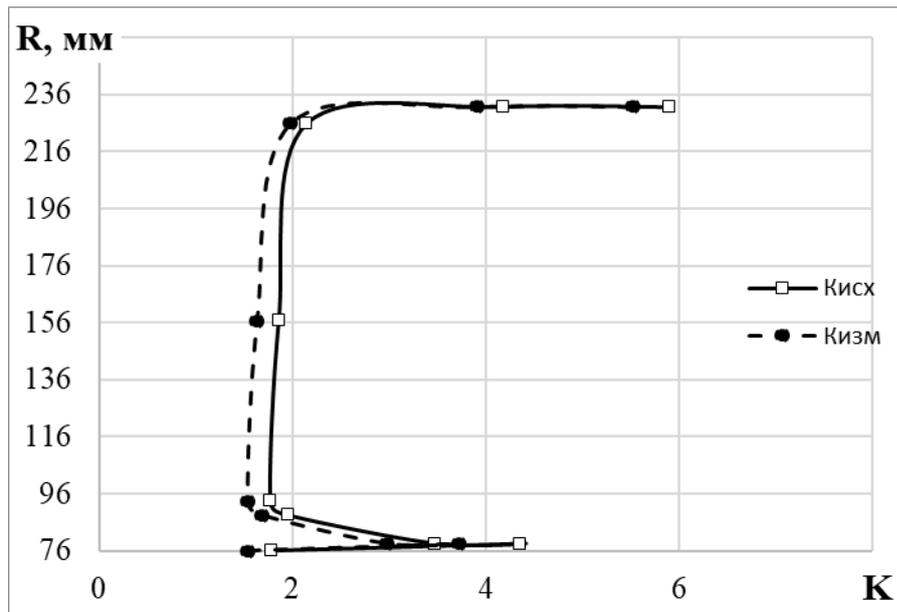
9	231,75	524,0060194	5,904	6,079
10	237,5	531		



5.7 Оценка влияния материала диска на запас прочности.

При изменении материала с ВТЗ-1 на ЭИ961 изменилась плотность: $\rho = 7800 \text{ кг/м}^3$. А также пределы длительной прочности для каждого сечения.

N	R, мм	σ_{dl} , МПа	Кисх	Кизм
1	76	870	1,79	1,538
2	78,5	870	4,358	3,72
3	78,5	870	3,482	2,975
4	88,5	870	1,953	1,687
5	93,5	870	1,774	1,537
6	156,75	870	1,861	1,633
7	226	865	2,151	1,982
8	231,75	855	4,184	3,915
9	231,75	855	5,904	5,525
10	237,5	850	0	0



5.8 Анализ результатов.

1. При увеличении частоты вращения, следовательно, и угловой скорости запас, прочности уменьшается.
2. При увеличении массы лопатки, коэффициент запаса уменьшается, так как увеличивается центробежная сила лопатки, следовательно, и напряжения от них.
3. При уменьшении толщины ступицы диска коэффициент запаса немного увеличивается...
4. При уменьшении толщины полотна диска коэффициент запаса почти не меняется...
5. При уменьшении толщины обода диска коэффициент запаса незначительно увеличивается...
6. При уменьшении температуры коэффициент запаса незначительно увеличивается...
7. При замене материала на материал с большей плотностью (ЭИ961) коэффициент запаса значительно уменьшается,

6. Выводы по анализу влияния конструктивных и эксплуатационных факторов запас прочности диска.