

## LXXII Молодёжная научная конференция

Erdumlaufbahn gebracht. Darüber hinaus verfügt Europa über ein umfangreiches Satellitennetzwerk und ein eigenes Satellitennavigationssystem.

- Die ESA arbeitet gemeinsam mit anderen Ländern an verschiedenen Missionen und trägt zur weltweiten Entwicklung des Weltraums bei. Europa schickt seit mehr als 30 Jahren wissenschaftliche Astronauten in den Weltraum, um an wissenschaftlichen Missionen teilzunehmen. Forschungsschwerpunkte sind das Verhalten von Materialien und kleinen Kreaturen in Schwerelosigkeit sowie ihre Auswirkungen auf menschlichen Körper, Wachstum von Kristallen unter Schwerelosigkeitsbedingungen. Alle Forschungsaktivitäten werden in Bezug auf den Nutzen für die Menschen auf der Erde durchgeführt.

- Beachtenswert ist die Zusammenarbeit vieler Nationen bei der Finanzierung und Durchführung verschiedener Projekte, die die Staaten nicht alleine durchführen könnten.

### References

1. Vor 45 Jahren: Gründung der ESA [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.bpb.de/kurz-knapp/hintergrund-aktuell/310713/vor-45-jahren-gruendung-der-esa/>

2. Die ESA: Fakten und Zahlen [Электронный ресурс] // Режим доступа: [https://www.esa.int/Space\\_in\\_Member\\_States/Germany/Die\\_ESA\\_Fakten\\_und\\_Zahlen](https://www.esa.int/Space_in_Member_States/Germany/Die_ESA_Fakten_und_Zahlen)

3. Die Deutsche Raumfahrtindustrie [Электронный ресурс] // Режим доступа: [https://www.bdli.de/sites/default/files/2016-04/Die\\_deutsche\\_Raumfahrtindustrie\\_0.pdf](https://www.bdli.de/sites/default/files/2016-04/Die_deutsche_Raumfahrtindustrie_0.pdf)

УДК 539.3/6

### **АНАЛИЗ РЕСУРСА ВЫСОКООБОРОТНОГО ВАЛА ПРИ ОЦЕНКЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

А. А. Алексенцев<sup>1</sup>

*Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С. П. Королева, г. Самара, Российская Федерация*

Научный руководитель: Д. В. Евдокимов, к.т.н., ведущий инженер  
*АО «Авиаагрегат»*

Ключевые слова: рабочий ресурс, высокооборотный вал, балансирование, полнофакторный эксперимент

Современное авиастроение характерно растущей долей производства малогабаритных летательных аппаратов, которые ввиду

---

<sup>1</sup> Алексенцев Артем Алексеевич, студент группы 2310-240305D,  
email: artem2000samara@gmail.com

своей специфики в значительной мере оснащаются электродвигателями в качестве движителя. Однако стоит отметить, что несмотря на тенденцию технического совершенствования электродвигателей и заменой ими двигателей внутреннего сгорания, доля поршневых двигателей остается все же большой.

На сегодняшний день, сектор поршневой авиации, согласно статистике Aero-News Network составляет более 70%, а, по их прогнозам, к 2030 году будет составлять не менее 60%. Таким образом, совершенствование конструкций поршневых двигателей и разработка новых подходов, позволяющих это делать эффективно, сохраняет свою актуальность.

В данной работе проводился конструкционный анализ вала скоростного микродвигателя рабочим объемом 2,5 см<sup>3</sup> Scorpio-2,5, которым оснащается кордовая судомодель класса b1. Главной задачей, решенной в данной работе являлась, разработка эффективной методики, позволившей увеличить ресурс приводного вала двигателя, поломки которого снижали ресурс двигателя ниже заявленного в ТЗ, а также позволившей обеспечить лучший баланс вала при вращении. Последний фактор важен тем, что неуравновешенность вращающихся механизмов приводит к повышенному износу подшипников, что снижает ресурс изделия в целом.

Первым этапом была разработана конечно-элементная модель исследуемого высокооборотного вала. Её решение в статической постановке позволило выявить наиболее опасные для разрушения зоны.

Следующим этапом была составлена группа определяющих геометрических параметров, которые имеют непосредственное влияние не только на прочностные характеристики вала, но и влияют на баланс вала при вращении. Данные параметры были структурированы согласно матрице полнофакторного эксперимента. Далее была произведена серия расчетов, где фиксировались величина эквивалентных напряжений  $\sigma_{IVmax}$  и величины реакций в двух опорах вала в зависимости от изменяющихся условий работы двигателя. Таблица с приведенными фиксируемыми параметрами в зависимости от варьируемых геометрических параметров вала представлены в таблице 1.

По результату проведенного численного полнофакторного эксперимента были получены степенные зависимости, позволяющие в зависимости от конструкционных особенностей приводного высокооборотного вала двигателя определять величины реакций в опорах, а также величину эквивалентных напряжений  $\sigma_{IVmax}$  в

наиболее опасном месте. Со степенными зависимостями возможно ознакомиться далее.

$$N_1 = 73,27 \cdot \alpha_1^{0,290} \cdot d^{0,063} \cdot \beta_1^{0,059};$$

$$N_2 = 2130,15 \cdot \alpha_1^{-0,264} \cdot d^{-0,256} \cdot \beta_1^{-0,489};$$

$$\sigma_{IVmax} = 8128,38 \cdot \alpha_1^{-1,005} \cdot d^{0,445} \cdot \beta_1^{-0,295}.$$

Таблица 1 - Матрица проведения численного эксперимента и полученные искомые величины реакций опор и эквивалентных напряжений.

Номер расчета	$\alpha_1$	d	$\beta_1$	$N_1$	$N_2$	$\sigma_{IVmax}$
1	+	+	+	360,1	63,3	163,1
2	-	+	+	337,9	63,5	186,1
3	+	-	+	345,7	63,0	158,5
4	-	-	+	331,0	63,2	161,3
5	+	+	-	325,0	72,2	179,9
6	-	+	-	338,7	79,1	192,0
7	+	-	-	346,8	78,7	175,0
8	-	-	-	331,7	78,8	207,2
9	0	0	0	343,6	71,2	188,3

Приведенные степенные зависимости были использованы для определения оптимальных геометрических параметров исследуемого высокооборотного вала. Для вала с данными параметрами был проведен расчет на сопротивление усталости, который показал, что в наиболее опасном месте коэффициент запаса составляет  $n = 2,23$ . Значение является достаточным относительно эксплуатационных условий рассматриваемого двигателя.

В результате проведенной работы была разработана методика, позволившая на основе созданных конечно-элементной и регрессионной моделей провести оптимизацию конструкции высокооборотного вала, что значительно увеличило его ресурс. Применение полученных степенных зависимостей позволило уменьшить реакцию в опорах на 4% и 25%, соответственно для двух опор, а также уменьшить величину эквивалентных напряжений в наиболее опасном месте  $\sigma_{IVmax}$  на 30%.