

# ИТОГИ ЗАЩИТ

## выпускных квалификационных работ на Аэрокосмическом факультете в 2020 году:

**86 %**

выпускников АКФ  
защитились на «**Отлично**»

**31 %**

выпускников АКФ получили  
**диплом с отличием**

в числе выпускников АКФ 2020

**6**

стипендиатов  
**Президента РФ и**

**3**

стипендиата  
**Правительства РФ**

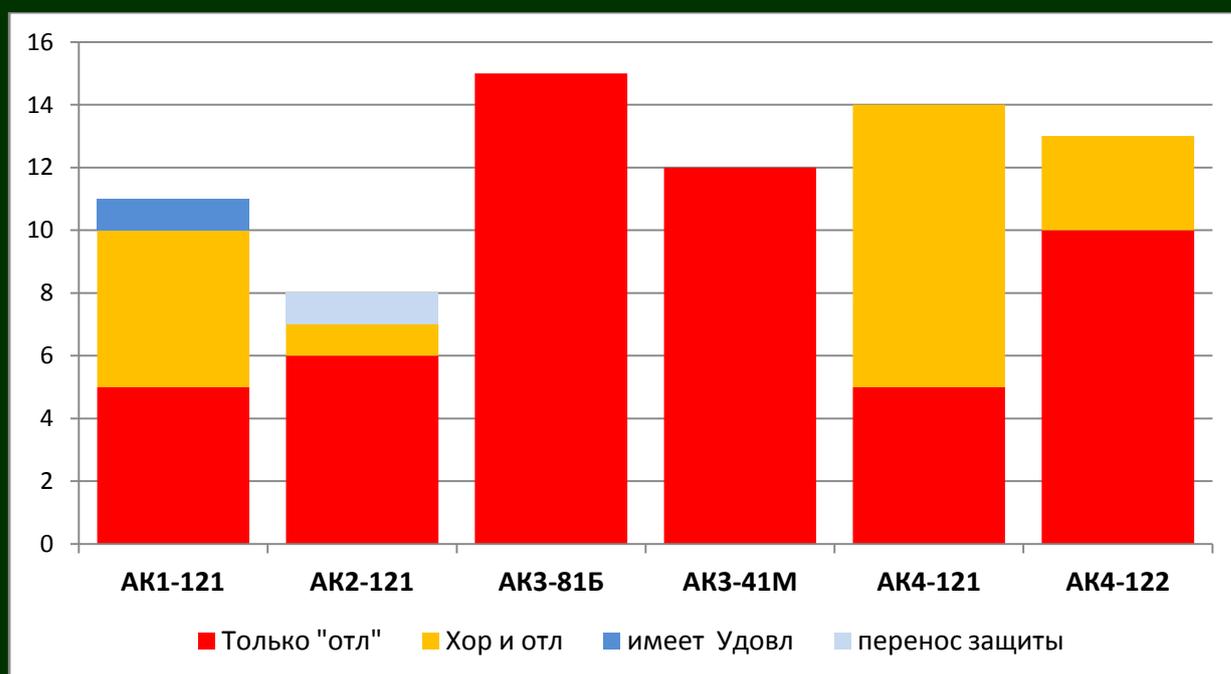
по направлениям подготовки, соответствующим  
приоритетным направлениям модернизации и  
технологического развития российской экономики

# Итоги защит ВКР на АКФ в 2020

Таблица:

ВКР	Количество студентов	отлично	Хорошо	Удовлетворительно	Перенос защиты	Примечание
АК1-121 (2019)	11 (10)	5 (8)	5 (2)	1 (0)	0 (0)	4 – Диплом с отличием (3)
АК2-121 (2019)	8 (13)	6 (9)	1 (4)	0 (0)	1 (0)	1 – Диплом с отличием; (4)
АК3-81Б (2019)	15 (15)	15 (15)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	5 – Диплом с отличием (4)
АК3-41М (2019)	12 (6)	12 (6)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	8 – Диплом с отличием (4)
АК4-121 (2019)	14 (8)	5 (8)	9 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (2)
АК4-122	13	10	3	0	0	5 – Диплом с отличием
<b>Всего (2019)</b>	73 (52)	53 (46)	18 (6)	1 (0)	1 (0)	23 (17)
<b>% (2019)</b>	100% (100%)	73% (88%)	25% (12%)	1% (0)	1% (0)	31% (33%)

Диаграмма:





**В 2020 году успешно защитили ВКР и  
удостоены диплома с отличием**

**23**

**выпускника**

**Аэрокосмического факультета:**

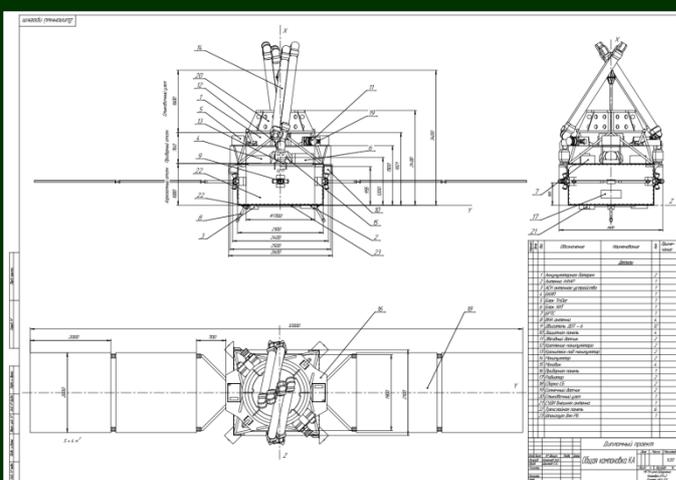
- |  |         |
|--|---------|
| 1. Каменев Никита Дмитриевич           | AK1-121 |
| 2. Стогний Михаил Владимирович         | AK1-121 |
| 3. Ушаков Роман Игоревич               | AK1-121 |
| 4. Юрченко Степан Николаевич           | AK1-121 |
| 5. Лаптева Маргарита Сергеевна         | AK2-121 |
| 6. Баталов Андрей Дмитриевич           | AK4-122 |
| 7. Болотских Антон Александрович       | AK4-122 |
| 8. Евланова Элла Владимировна          | AK4-122 |
| 9. Морозова Виктория Геннадьевна       | AK4-122 |
| 10. Христенко Олеся Сергеевна          | AK4-122 |
| 11. Бебенина Антонина Александровна    | AK3-81Б |
| 12. Козырев Никита Максимович          | AK3-81Б |
| 13. Маковская Маргарита Олеговна       | AK3-81Б |
| 14. Медведева Юлия Андреевна           | AK3-81Б |
| 15. Шайхлисламова Арина Рустемовна     | AK3-81Б |
| 16. Антонов Антон Александрович        | AK3-41М |
| 17. Жуган Вишня Алексеевна             | AK3-41М |
| 18. Коротаев Дмитрий Владимирович      | AK3-41М |
| 19. Локтионова Анастасия Геннадьевна   | AK3-41М |
| 20. Маремшаова Анастасия Александровна | AK3-41М |
| 21. Пучков Андрей Сергеевич            | AK3-41М |
| 22. Тонких Евгений Геннадьевич         | AK3-41М |
| 23. Филковский Константин Владимирович | AK3-41М |



## Выпускники АКФ 2020 года – стипендиаты Президента Российской Федерации:

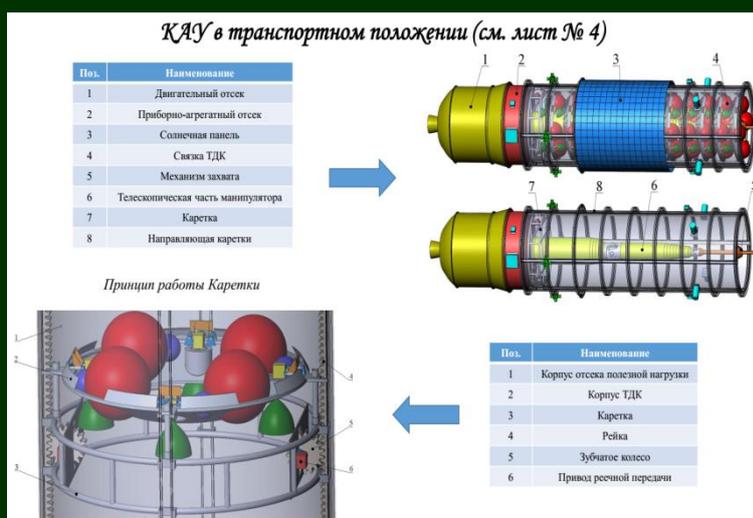
Каменев Никита Дмитриевич

АК1-121

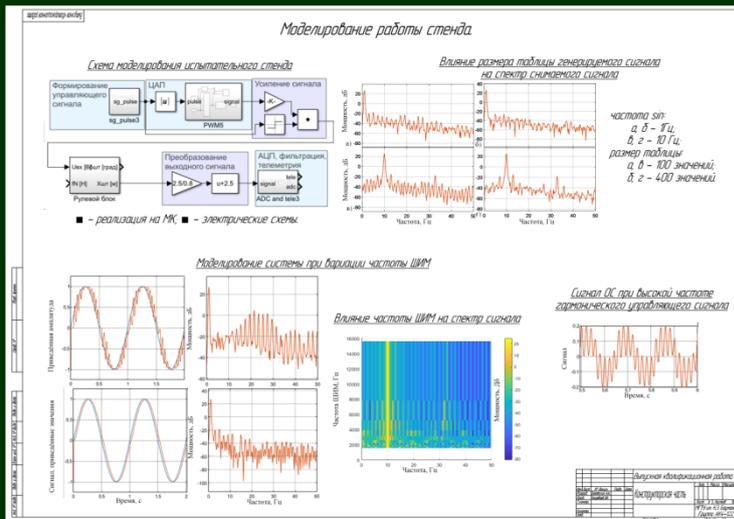


Стогний Михаил Владимирович

АК1-121



По результатам ВКР М. Стогний с профессором Г.А. Щегловым защитил патент, опубликовал статью, сделал доклад на двух международных конференциях, включая Международный Астронавтический конгресс в Вашингтоне (21 -25 октября 2019, США).



**Метод проекции. Анализ результатов**

**Параметры обтекания и геометрии тела:**

- Длина тела: 229 калибров;
- Радиус закругления носового обтекателя: 5 см;
- Угол атаки: 0 градусов;
- Число Рейнольдса: 2 е4 1/см;
- Температура набегающего потока: 235.35 К;
- Температура стенки: 300 К.



Рисунок 16 – Обтекаемое тело

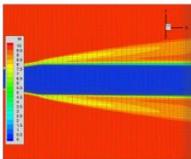


Рисунок 17 – Распределение числа Маха на грубой сетке вдоль тела

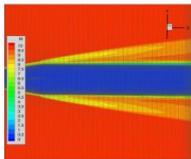


Рисунок 18 – Распределение числа Маха на подробной сетке вдоль тела после проецирования





**Построение математической модели**

Уравнение сохранения количества движения

$$(c_1 f_{\eta\eta})_{,\eta} + f f_{\eta\eta} - \Omega(f_{\eta}^2 - c_0) - \frac{2\xi}{\xi_s}(f_{\eta} f_{\eta s} - f_s f_{\eta\eta}) = 0$$

Уравнение сохранения энергии

$$\left[ \frac{c_1}{Pr} \zeta h_{0,\eta} \right]_{,\eta} + f h_{0,\eta} - u_e^2 \left[ \frac{c_1}{Pr} (\zeta - Pr) f_{\eta} f_{\eta\eta} \right]_{,\eta} - \Psi \left( \sum_{i=1}^n h_i J_{d,i} \right)_{,\eta} - \frac{2\xi}{\xi_s} (f_{\eta} h_{0,s} - f_s h_{0,\eta}) = 0$$

Уравнение сохранения массы

$$-\Psi J_{d,i,\eta} + f C_{i,\eta} + \frac{2\xi}{\rho u_e \xi_s} \omega_i - \frac{2\xi}{\xi_s} (f_{\eta} C_{i,s} - f_s C_{i,\eta}) = 0 \quad i = \overline{1, n}$$

Интенсивность диффузионного теплопереноса

$$-\Psi \sum_{i=1}^n h_i J_{d,i} = \frac{c_1}{Pr} Le_{\text{Фик}} \left[ \frac{c_{p,sh}}{c_{p,s}} h_{0,\eta} - u_e^2 f_{\eta} f_{\eta\eta} - \sum_{k=1}^{m-1} h_{\Theta,k} \Theta_{k,\eta} \right] + \sum_{k=1}^{m-1} h_{\Theta,k} \Theta_{k,\eta} = \frac{c_1}{Pr} Le_{\text{Фик}} \left[ (1-\zeta) (h_{0,\eta} - u_e^2 f_{\eta} f_{\eta\eta}) + \zeta \sum_{k=1}^{m-1} h_{\Theta,k} \Theta_{k,\eta} \right]$$

Преобразованное уравнение сохранения энергии и его коэффициенты

$$(c_2 h_{0,\eta} + c_3)_{,\eta} + f h_{0,\eta} - \frac{2\xi}{\xi_s} (f_{\eta} h_{0,s} - f_s h_{0,\eta}) = 0$$

$$c_2 = \frac{c_1}{Pr} \left[ \zeta + (1-\zeta) Le_{\text{Фик}} \right] \quad c_3 = \zeta \frac{c_1}{Pr} (Le_{\text{Фик}} - 1) \sum_{k=1}^{m-1} h_{\Theta,k} \Theta_{k,\eta} - (c_2 - c_1) u_e^2 f_{\eta} f_{\eta\eta}$$



**МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ:**

Конечно-элементная аппроксимация  $\Omega_i^h$  области  $\Omega_i$  погружается в диаграмму Вороного:

$$\Omega_i^h \subset \bigcup_{j=1}^M \Omega_{ij}^h, \Omega_{ij}^h = \left\{ x \in \mathbb{R}^3 : \rho(x, w_j) = \min_{k=1..M_i} \rho(x, w_k) \right\}$$

где  $w_j$  - центральные точки звеньев ломанных, аппроксимирующих центральные линии нитей намотки. При этом:

$$Q(x)|_{x \in \Omega_j^h} = (\tau_j \quad c_j \quad \mathbf{n}_j) = \text{const}$$

$$c_j = \frac{\mathbf{n}_j \times \tau_j}{|\mathbf{n}_j \times \tau_j|}$$

$\tau_j$  - вектор касательной к центральной линии нити;

$\mathbf{n}_j$  - нормаль к центральной линии нити.

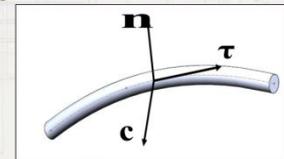


Рисунок 2 - Локальная система координат



На фото: Рабочий момент заседания ГЭК в дистанционном режиме в группе АКЗ-41М, состоявшегося 23 июня 2020



## Выпускники АКФ 2020 года - стипендиаты Правительства Российской Федерации

Пучков Андрей Сергеевич

АК3-41М



Полученная формула для  
расчета коэффициента на  
затупленном по сфере конусе

$$C_{P_{з.к.}} = \frac{C_{P_{сф.сomp.}}}{\exp\left(\frac{\chi}{\beta_k^2 M_\infty^2}\right)} + C_{P_{з.к.}} f^*(\chi^*, \psi)$$

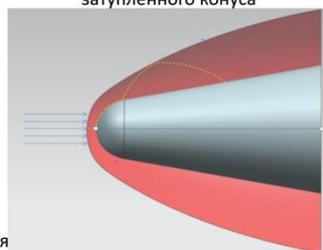
$C_{P_{сф.сomp.}}$ ,  $C_{P_{з.к.}}$  - коэффициент давления на  
сфере и на остром конусе

$\chi^*$ ,  $\chi$  - параметры гиперзвукового подобия

$f^*$  - коэффициент перехода на давление острого  
конуса

$\psi$ ,  $\lambda$  - свободные параметры подлежащие  
определению

Поведение потока при обтекании  
затупленного конуса



Функционал МНК

$$\sum_{k=1}^n (C_{P_{табл.}} - C_{P_{з.к.}})^2 \rightarrow \min$$

8

Тонких Евгений Геннадьевич

АК3-41М



### Математическая постановка задачи

Уравнения  
газовой  
динамики

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x'} (\sqrt{g} \rho v) = 0 \\ \frac{\partial}{\partial x'} \left[ \sqrt{g} \left( \rho v' \omega_m + \frac{\partial x'}{\partial z_m} P \right) \right]_{m=1,2,3} = 0 \\ \frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{P}{\rho} + \frac{V^2}{2} = \frac{\gamma}{\gamma-1} \frac{P_\infty}{\rho_\infty} + \frac{V_\infty^2}{2} = const \end{cases}$$

ГУ на теле

$$\vec{V}_T \cdot \vec{n}_T = \omega_1 \cos(\beta) \cos(\phi) + \omega_2 \cos(\beta) \sin(\phi) + \omega_3 \sin(\beta) = 0$$

ГУ на ударной волне

$$\rho_2 = k \rho_1; \quad v_{n2}^2 = \frac{P_2 - P_1}{\rho_1(1-k)}; \quad v_{n2}^2 = \frac{P_2^2}{\rho_2^2} v_{n1}^2 = \frac{1}{k^2} v_{n1}^2$$

$$k = \frac{1 + \frac{2\gamma}{\gamma-1} \frac{P_1}{\rho_1}}{-1 + \frac{2\gamma}{\gamma-1} \frac{P_2}{\rho_2}}$$

3



*Математическая модель расхода топлива для КР*

*Силы, действующие в полёте на КР*

*Расход топлива определяется как*

$$\dot{m} = \frac{1}{\alpha \cdot L + 1} \rho_{кр} \cdot a_{кр} \cdot q \left( \lambda \left( \frac{p_c}{p_a} \right) \right) \cdot S_d$$

*Скорость потока в критическом сечении*

$$a_{кр} = \sqrt{2 \cdot \frac{k_n}{k_n + 1} \cdot R_n \cdot T_n^*}$$

*Плотность продуктов сгорания в критическом сечении*

$$\rho_{кр} = \left( 1 - \frac{k_n - 1}{k_n + 1} \right)^{\frac{1}{k_n - 1}} \cdot \frac{p_n^*}{R_n \cdot T_n^*}$$

*Приближённая скорость потока*

$$\lambda \left( \frac{p}{p^*} \right) = \frac{V}{a_{кр}} = \varphi_c \cdot \sqrt{1 - \left( \frac{p}{p^*} \right)^{\frac{k_n - 1}{k_n}} \cdot \frac{k_n + 1}{k_n - 1}}$$

*Спроецируем силы на оси*

$$Y - G \cos(\alpha) = 0$$

$$m(z) = 0$$

$$P = X + G \sin(\alpha)$$

*Сила лобового сопротивления*



На фото: Рабочий момент заседания ГЭК в дистанционном режиме в группе АК2-121, состоявшегося 18 июня 2020