



Номинация конкурса «Авиастроитель года» (по итогам 2023 года):

«За эффективную систему послепродажного обслуживания авиационной техники российского производства»

Конкурсная работа

Продление ресурса авиационных тросов для поддержания непрерывного боевого дежурства изделий дальней авиации ВКС РФ

Коллектив авторов:

Начальник бригады СП 41.06, к.т.н.
Агеев Артём Геннадьевич

Ведущий инженер-технолог СП 41.14
Мешков Тимофей Андреевич

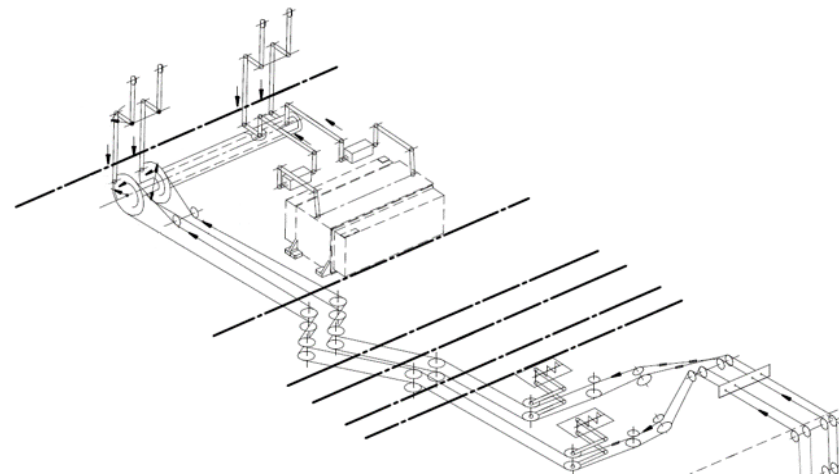
Ведущий инженер-конструктор СП 41.06
Козлов Виктор Владимирович

Инженер-конструктор СП 41.06
Гарюнов Даниил Сергеевич



Поддержание летной годности отечественных изделий дальней авиации, эксплуатируемых ВКС РФ – основа безопасной эксплуатации воздушных судов.

Актуальной проблемой является продление ресурса авиационных тросов, которые, в частности, используются в системах управления двигателями, рулями, механизацией и др. Аналогичной проблемой является перевод авиационных тросов на метод технической эксплуатации по состоянию вместо эксплуатации по ресурсу. Обе проблемы решаются посредством уточнения ресурсного бюллетеня по результатам испытаний на статическое растяжение (разрыв) и на циклическое растяжение (выносливость) в соответствии с ГОСТ 2172-80 и ГОСТ 2387-80.

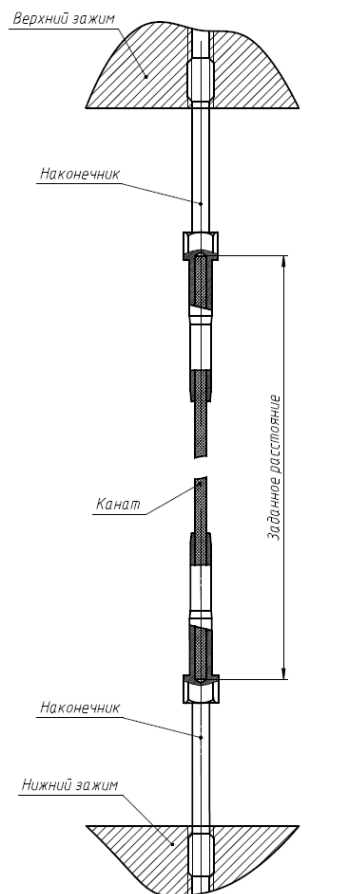


Тяго-тросовая система управления двигателями

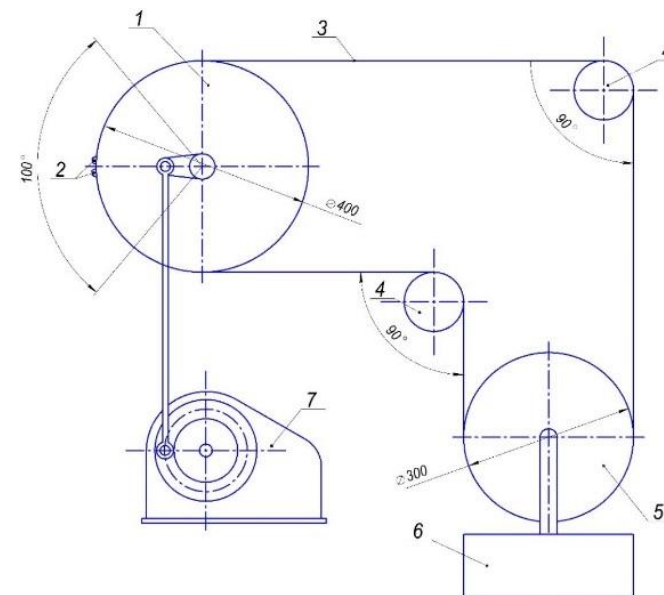
Этапы испытаний для продления ресурса авиационным тросам



Этап 1. Лабораторные дефектовочные исследования



Этап 2. Испытания на разрыв по ГОСТ 2172-80



Этап 3. Испытания на выносливость по ГОСТ 2387-80

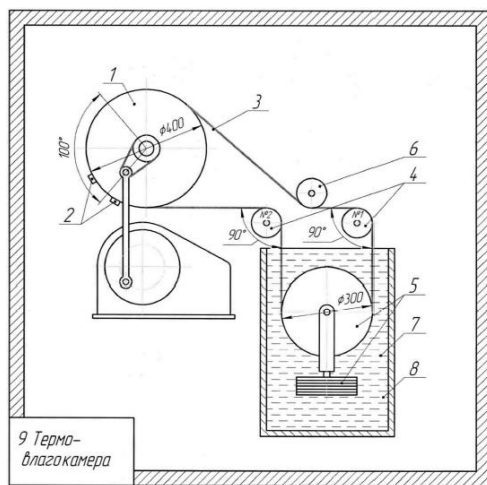
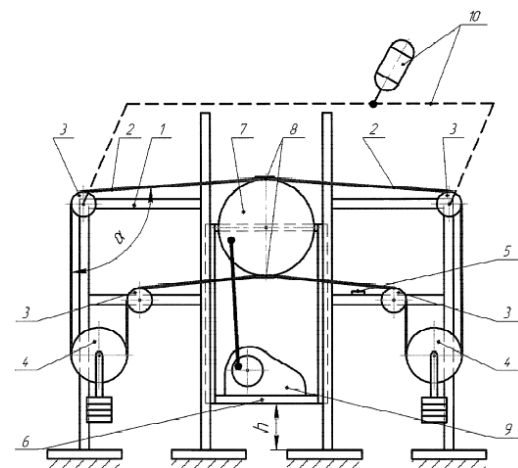
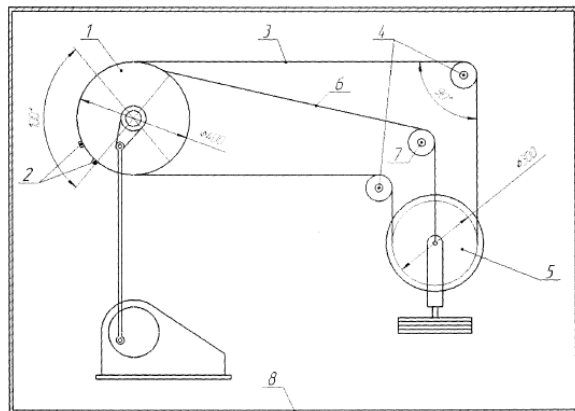
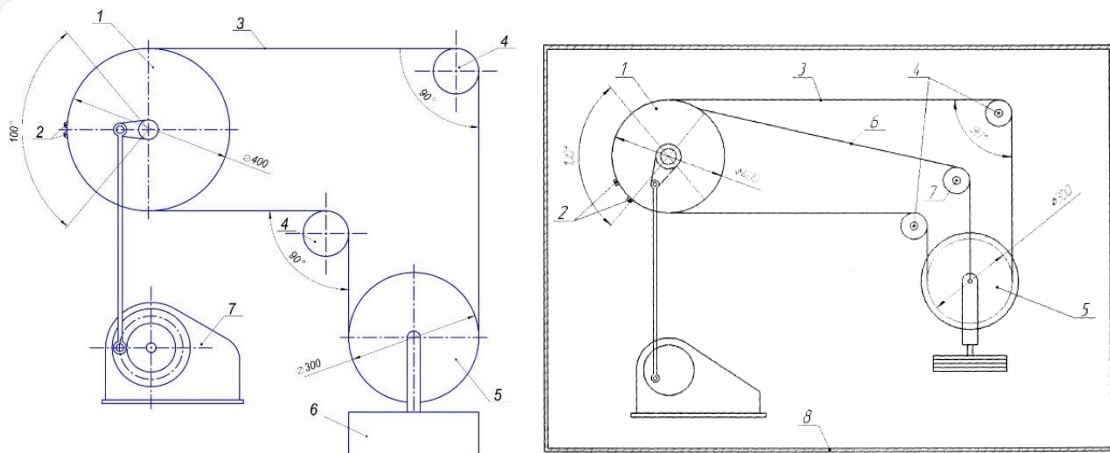
Важным итогом продления ресурса авиационных тросов в составе парка изделий, находящихся на боевом дежурстве, является увеличение возможностей дальней авиации в части непрерывного обеспечения обороны государства при сохранении безопасности выполнения полетов изделий авиационной техники ВКС РФ, что требует оперативного проведения экономически эффективных мероприятий поддержания летной годности воздушных судов в части проведения необходимых испытаний в возможно короткие сроки для исключения постановки на ремонт всего парка изделий АТ.

Цель данной работы – Продление ресурса авиационных тросов в составе парка изделий АТ, находящихся на непрерывном боевом дежурстве, в требуемые сроки для исключения необходимости постановки изделий на ремонт и проведения трудоемкой операции по замене тросовой проводки.

Задачи, решаемый для достижения указанной цели:

- Анализ прокатных машин для испытаний стальных авиационных тросов на выносливость по ГОСТ 2387-80;
- Разработка устройства, позволяющего проводить испытания на выносливость авиационных тросов не на прокатной машине по ГОСТ 2387-80, а на уже существующих универсальных разрывных машинах, используемых при испытаниях на разрыв по ГОСТ 2172-80;
- Проведение испытаний на выносливость авиационных тросов на разработанном устройстве в возможно короткие сроки;
- Продление ресурса стальным авиационным тросам в составе парка изделий АТ.

Анализ недостатков прокатных машин для испытаний тросов на выносливость по ГОСТ 2387-80



Технические недостатки:

- Невозможность исследования на выносливость образцов тросов под действием на них осевой нагрузки;
- Отсутствие компенсации поперечных колебаний груза, вызванных вращательным движением грузового ролика.

Экономические недостатки:

- Необходимость разработки, изготовления и аттестации отдельного стенда для проведения испытаний на выносливость по ГОСТ 2387-80, в дополнение к уже существующей машине для испытаний тросов на статический разрыв.

Анализ экономического недостатка проведения испытаний на выносливость на прокатном стенде



Главный недостаток проведения испытаний на прокатной машине по ГОСТ 2387-80 – экономический, связанный с большими затратами на проектирование, производство и аттестацию отдельного стенда.

По расчетам трудоемкость выполнения работ составила бы 13000 ч/ч, со сроком выполнения 15.02.2025, что недопустимо долго и экономически не эффективно в условиях обеспечения непрерывного боевого дежурства изделий АТ для выполнения целей специальной военной операции и необходимости продления ресурса в требуемые сроки.

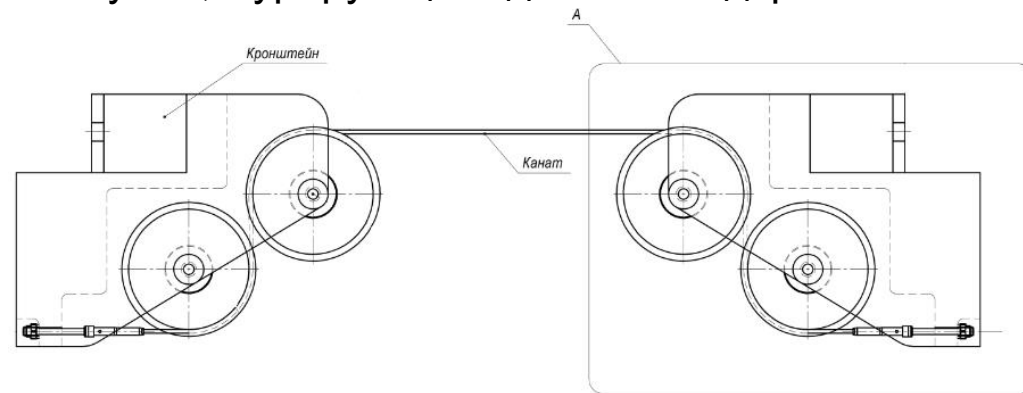
| Номер п.п. | Наименование работ | Выполнение работ | Трудоемкость, ч/ч |
|------------|---|-----------------------|-------------------|
| 1 | Разработка РКД образцов тросов в заделке с наконечниками и прокатного стенда по ГОСТ 2387-80 | 01.06.2023-01.09.2023 | 3500 |
| 2 | Разработка программы и методики испытаний на разрыв и выносливость | 01.09.2023-15.10.2023 | 300 |
| 3 | Разработка эксплуатационной документации на прокатный стенд | 15.10.2023-15.12.2023 | 700 |
| 4 | Проведение лабораторных дефектовочных исследований с разметкой и обрезкой образцов тросов | 15.12.2023-01.01.2024 | 150 |
| 5 | Изготовление образцов тросов в заделке с наконечниками для испытаний на разрыв и выносливость | 01.01.2024-01.02.2024 | 200 |
| 6 | Закупка ПКИ и изготовление прокатного стенда | 01.02.2024-01.06.2024 | 4000 |
| 7 | Монтаж прокатного стенда и пуско-наладочные работы | 01.06.2024-01.07.2024 | 1000 |
| 8 | Первичная аттестация прокатного стенда | 01.07.2024-15.07.2024 | 500 |
| 9 | Корректировка РКД и ЭД и доработка прокатного стенда | 15.07.2024-01.10.2024 | 1500 |
| 10 | Повторная аттестация прокатного стенда | 01.10.2024-15.10.2024 | 500 |
| 11 | Проведение циклических испытаний | 15.10.2024-01.12.2024 | 300 |
| 12 | Проведение испытаний на разрыв, в том числе образцов выдержавших циклические испытания | 01.12.2024-15.12.2024 | 100 |
| 13 | Оформление протоколов и акта испытаний | 15.12.2024-15.01.2025 | 150 |
| 14 | Оформление заключения о продлении ресурса авиационных тросов в составе парка изделий АТ | 15.01.2025-01.02.2025 | 50 |
| 15 | Оформление ресурсного бюллетеня об изменении ресурса тросов | 01.02.2025-15.02.2025 | 50 |
| | Итого | 01.06.2023-15.02.2025 | 13000 |

Разработка устройства, позволяющего проводить испытания на выносливость авиационных тросов на разрывной машине



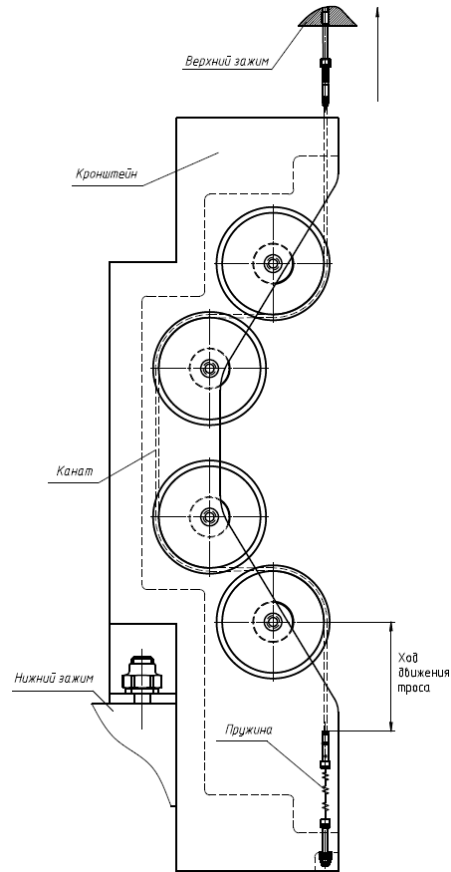
В связи с большими затратами на проектирование, производство и аттестацию отдельного стенда в виде прокатной машины для проведения испытаний на выносливость по ГОСТ 2387-80, необходимостью полного контроля за процессом испытаний на в секторе механических исследований Московской площадки АО «Туполев» и возможностью использования испытательного оборудования для будущих исследований, коллективом авторов разработаны варианты переносного устройства (Варианты 1, 2 и 3 на Слайдах 8 и 9), позволяющего проводить испытания на выносливость авиационных тросов на существующих разрывных машинах (см. Этап 2 на Слайде 3) и по технической сущности аналогичные прокатным машинам по ГОСТ 2387-80.

Главным условием отступления от ГОСТ 2387-80 и проведения испытаний на разработанном переносном устройстве является необходимость подготовки обоснования и согласования программы испытаний и заключения о продлении ресурса тросов с институтом, курирующим данный вид работ – ФАУ «ЦАГИ». Данное условие было выполнено.

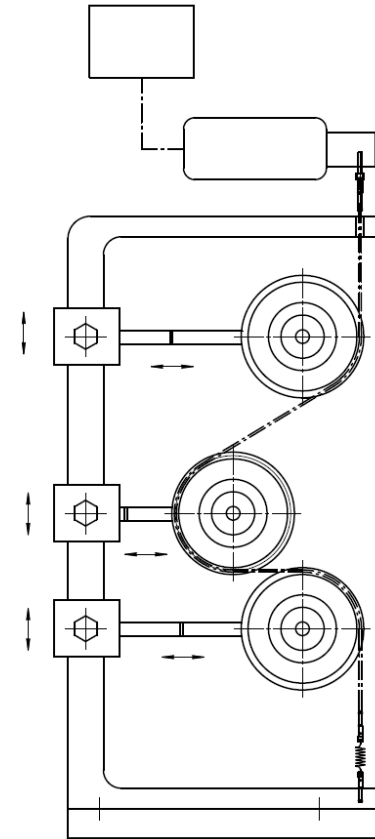


Конструкция устройства с имитацией изгиба троса. Вариант 1

Разработка устройства, позволяющего проводить испытания на выносливость авиационных тросов на разрывной машине с имитацией износа



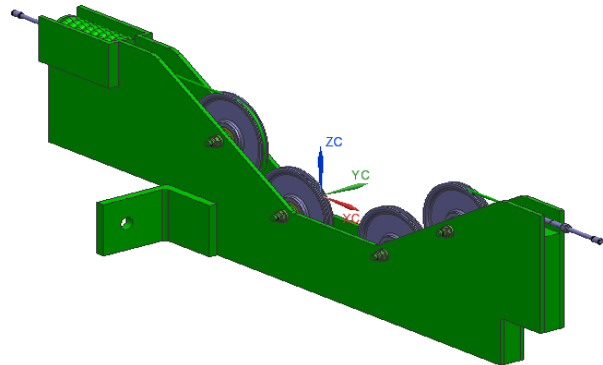
Конструкция устройства с имитацией износа троса при его работе на роликах.
Вариант 2



Конструкция устройства для соблюдения геометрического подобия реальной системы.
Вариант 3



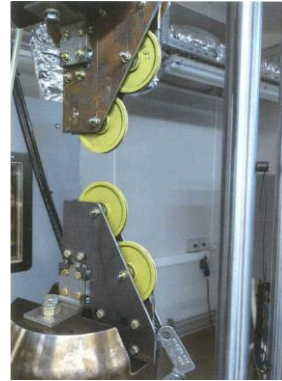
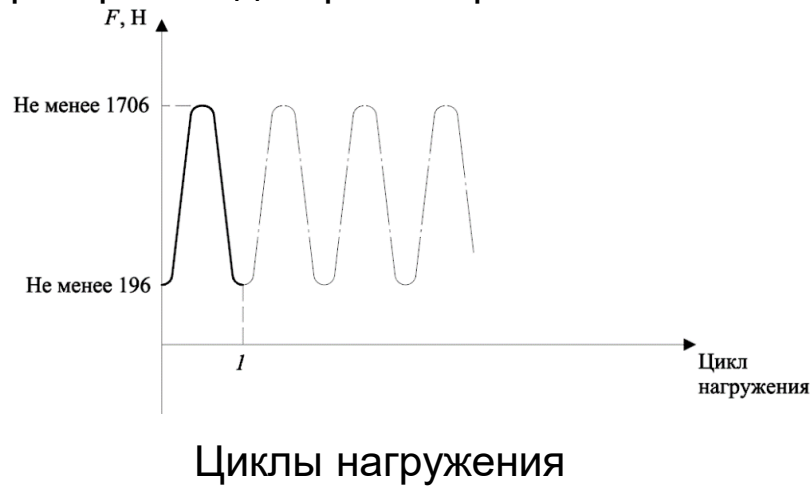
Изготовленный образец одного из вариантов предлагаемого устройства



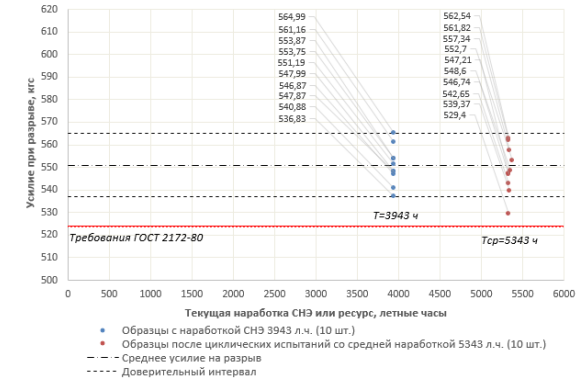
3D модель одного из вариантов предлагаемого устройства

| Номер п.п. | Наименование работ | Выполнение работ | Трудоемкость, ч/ч |
|------------|--|-----------------------|-------------------|
| 1 | Разработка РКД образцов тросов в заделке с наконечниками и предлагаемого устройства с описанием допустимых упрощений | 01.06.2023-01.07.2023 | 200 |
| 2 | Разработка программы и методики испытаний на разрыв и выносливость | 01.07.2023-01.08.2023 | 200 |
| 3 | Разработка обоснования к программе испытаний для ФАУ «ЦАГИ» о возможности замены прокатной машины на устройство | 01.09.2023-07.09.2023 | 50 |
| 4 | Проведение лабораторных дефектовочных исследований с разметкой и обрезкой образцов тросов | 07.09.2023-01.10.2023 | 150 |
| 5 | Изготовление образцов тросов в заделке с наконечниками для испытаний на разрыв и выносливость | 01.10.2023-01.11.2023 | 200 |
| 6 | Изготовление предлагаемого устройства для испытаний на выносливость | 01.11.2023-15.11.2023 | 150 |
| 7 | Сборка предлагаемого устройства испытаний для испытаний на выносливость | 15.11.2023-01.12.2023 | 50 |
| 8 | Проведение испытаний на выносливость | 01.12.2023-15.01.2024 | 300 |
| 9 | Проведение испытаний на разрыв, в том числе образцов выдержавших испытания на выносливость | 15.01.2024-01.02.2024 | 100 |
| 10 | Оформление протоколов и акта испытаний | 01.02.2024-01.03.2024 | 150 |
| 11 | Оформление заключения о продлении ресурса авиационных тросов в составе парка изделий АТ | 01.03.2024-15.03.2024 | 50 |
| 12 | Оформление ресурсного бюллетеня об изменении ресурса тросов | 15.03.2024-01.04.2024 | 50 |
| | Итого | 01.06.2023-01.04.2024 | 1650 |

После отбора наиболее изношенных участков тросов по результатам лабораторных дефектовочных исследований были проведены испытания на разрыв (статическое растяжение) и испытания на выносливость (циклическое растяжение) с усилиями, соответствующими воспринимаемым нагрузкам на изделия, а также построены диаграммы рассеяния остаточной прочности, позволяющих спрогнозировать ресурс тросов до списания.



Установка устройства на разрывной машине



Испытания проводились до обрыва первой нити каната или до достижения заданного количества циклов нагружения $N_{исп}$, которое соответствует количеству циклов приемистости (изменения режима работы) троса за назначенный ресурс основного изделия:

$$N_{исп} = (T * \eta - N_{эксп}) * K_{изм}$$

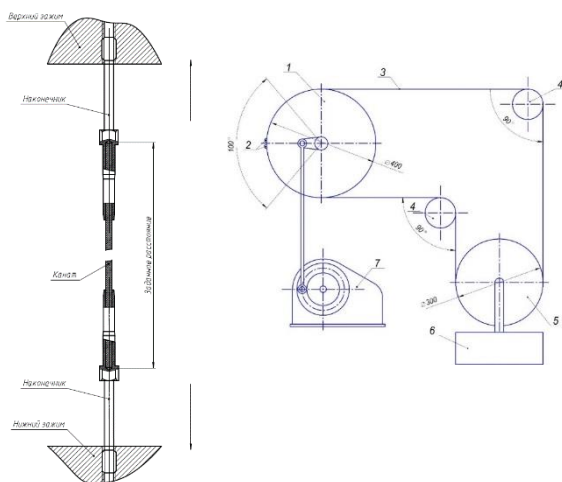
где, $N_{эксп}$ — отработанный в эксплуатации ресурс троса, часов; T — назначенный ресурс основного изделия до списания, часов; $K_{изм}$ — количество циклов изменения режима работы троса на основном изделии за один час, изменений/час; η — коэффициент надежности.

Основным преимуществом разработанного устройства является отсутствие необходимости проектирования отдельной машины (прокатного станда) по ГОСТ 2387-80, его изготовления и аттестации, что привело к снижению затрат на величину не менее 10 млн. руб. Все эти этапы были заменены на проектирование и изготовление простого устройства в виде кронштейна с роликами, с возможностью его установки на существующие универсальные разрывные машины, необходимые для статического разрыва образца троса.

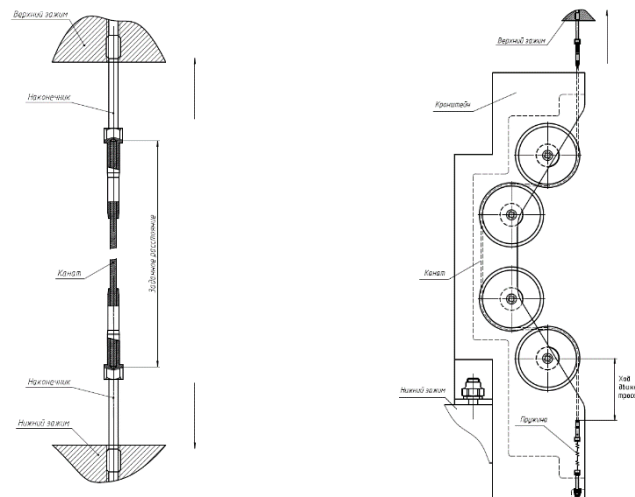
Таким образом вместо двух машин (одна – прокатная машина, по ГОСТ 2387-80 для циклических испытаний, вторая – разрывная машина, для статических испытаний) имеем одну – разрывную машину и устройство в виде кронштейна с роликами.

Трудоемкость выполненных работ составила 1650 ч/ч (вместо 13000 ч/ч), со сроком выполнения 01.04.2024 (вместо 15.02.2025), что обеспечило непрерывное боевое дежурство изделий АТ для выполнения целей специальной военной операции без необходимости постановки находящихся в эксплуатации изделий на ремонт и проведения трудоемкой операции по замене тросовой проводки.

Было



Стало



Выводы:

- Проведен анализ нормативной документации на авиационные тросы, на методы их испытаний, выявлены недостатки прокатных по ГОСТ 2387-80 машины для испытаний тросов на циклическое растяжение (выносливость);
- Проведены лабораторные дефектовочные исследования тросов с наработкой, построены диаграммы изменения диаметра троса по его длине;
- Разработаны варианты переносного устройства по технической сущности аналогичные прокатным машинам по ГОСТ 2387-80, позволяющие проводить испытания на выносливость авиационных тросов на универсальной разрывной машине в секторе механических исследований на Московской площадке АО «Туполев»;
- Построены диаграммы рассеяния остаточной прочности, позволяющие прогнозировать ресурс тросов до списания, без необходимости визуального контроля и разрушения образцов.

Заключение:

- Разработка устройства, позволяющего проводить испытания на выносливость авиационных тросов на разрывной машине, позволила уменьшить затраты на проектирование, производство и аттестацию отдельного прокатного станда по ГОСТ 2387-80 для проведения испытаний на выносливость на 10 млн. руб., провести испытания для продления назначенного ресурса тросов в возможно короткие сроки, как следствие обеспечить непрерывное боевое дежурство изделий АТ для выполнения целей специальной военной операции без необходимости постановки находящихся в эксплуатации изделий на ремонт и проведения трудоемкой операции по замене тросовой проводки и обеспечить проведение испытаний на Московской площадке АО «Туполев», не передавая данный объем работ сторонним организациям и в другие регионы РФ, а также использовать созданный производственный задел для будущих ресурсных испытаний и исследований.

1. Агеев А.Г., Козлов В.В., Гарюнов Д.С. Обзор методов испытаний стальных авиационных тросов на выносливость // XXVI Туполевские чтения (школа молодых ученых): Международная молодёжная научная конференция, 9-10 ноября 2023 года: Материалы конференции. Сборник докладов. – Казань: ИП Сагиев А.Р., 2023. С. 8-11;
2. На разработанную конструкцию переносного устройства подана заявка на изобретение.

Спасибо за внимание!