

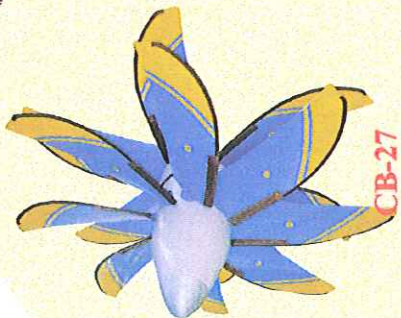
ВОЗДУШНЫЕ ВИНТЫ И ВИНТОВЕНТИЛЯТОРЫ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ



Ту-330



Ан-70

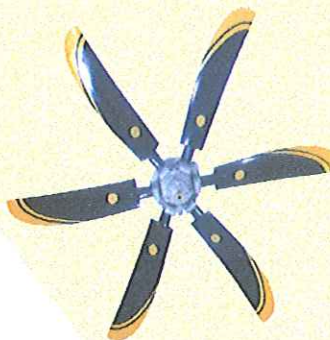


CB-27

Государственные испытания
 В 2012 г.



CB-92
 ЛКИ в 2012

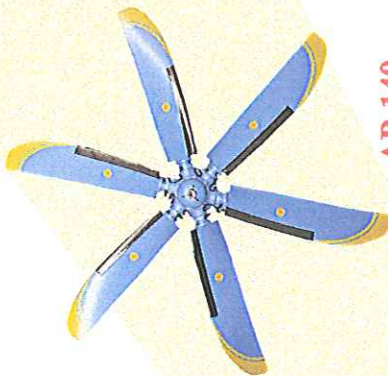


AB-36

Сертифицирован в 2002



Ан-38



AB-140

Сертифицирован в 2001
 В эксплуатации с 2002



Ан-140



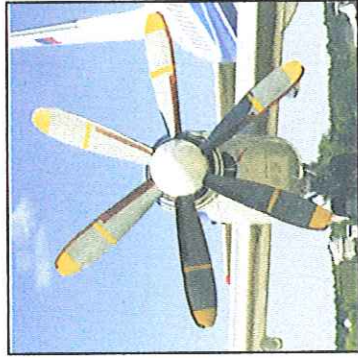
CB-34

Сертифицирован в 1997
 В эксплуатации с 1998



Ил-114

Программа создания воздушных винтов и винтовентиляторов для самолетов нового поколения. Основные задачи.



Воздушный винт СВ-34
N = 2500 л. с.

Лопастей из ПКМ

- Конструкция пера и заделки
- Методы расчета прочности
- Критерии прочности и аэроупругости
- Материалы
- Технологический процесс
- Методы и средства приборного контроля
- Методы и средства испытаний
- Эксплуатационная повреждаемость и ремонтпригодность
- Прогрессивное технологическое оборудование
- Опытная лабораторно-производственная база
- Серийная лабораторно-производственная база

Аэродинамика и акустика

- Методы расчета
- Новые профили
- Исследования аэродинамических компонентов
- Интегрированные методы расчетов



Винтовентилятор СВ-27

N = 14000 л. с.

Для транспортного самолета

Втулки винтовентиляторов

- Конструкция
- Новые процессы
- Прогрессивное специализированное оборудование

САУ винтовентиляторов

- Использование электроники
- Синхрофазирование
- Диагностика
- Методы и средства испытаний супервизорных САУ



Винтовентилятор СВ-92

N = 30000 л. с.

Для широкофюзеляжных самолетов

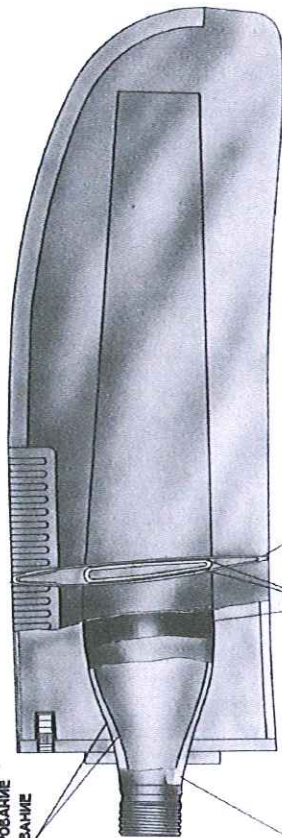
Выбор конструкции лопасти



«Аэросила»
Научно-производственное
предприятие

С ПОЛЫМ АЛЮМИНОВЫМ ЛОНЖЕРОНОМ
ДЛЯ ПРЯМЫХ И САБЛЕВИДНЫХ ЛОПАТЕЙ

АНТИКОРРОЗИОННАЯ
ЗАЩИТА
АНОДИРОВАНИЕ
ГРЯНТОВАНИЕ



С КОМБИНИРОВАННЫМ ЛОНЖЕРОНОМ
ДЛЯ САБЛЕВИДНЫХ ЛОПАТЕЙ

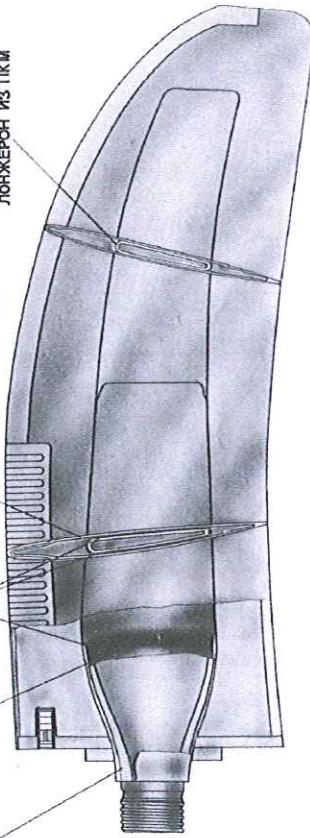
АЛЮМ. СПЛАВ
δ = 25mm

ПКМ

ВК-50 δ=0.5mm

ОБОЛОЧКА ИЗ ПКМ

ЛОНЖЕРОН ИЗ ПКМ



ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ

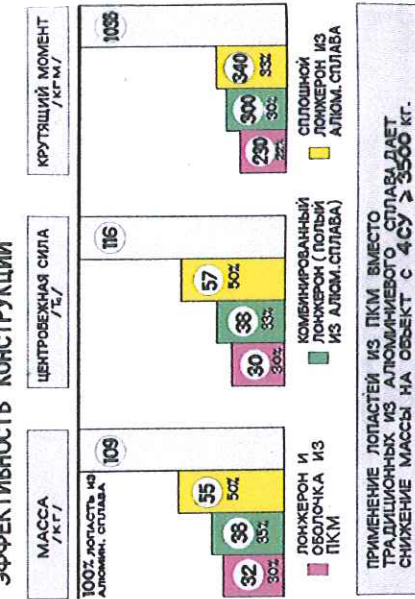
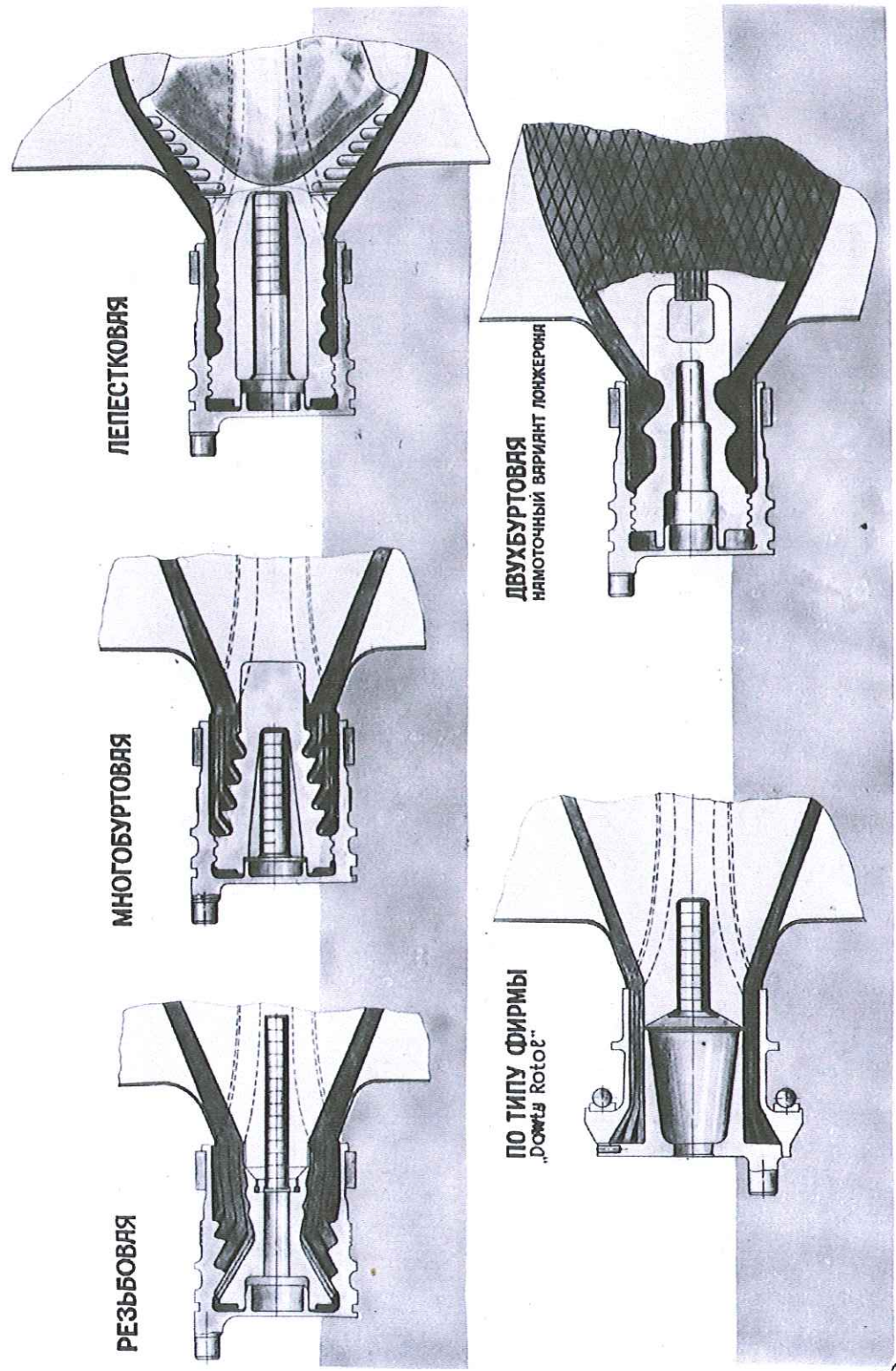


Рис.2

Выбор конструкции заделок



Разработано 90 вариантов исследовано 12 вариантов конструкций

Выбранная конструкция, ее элементы и назначение

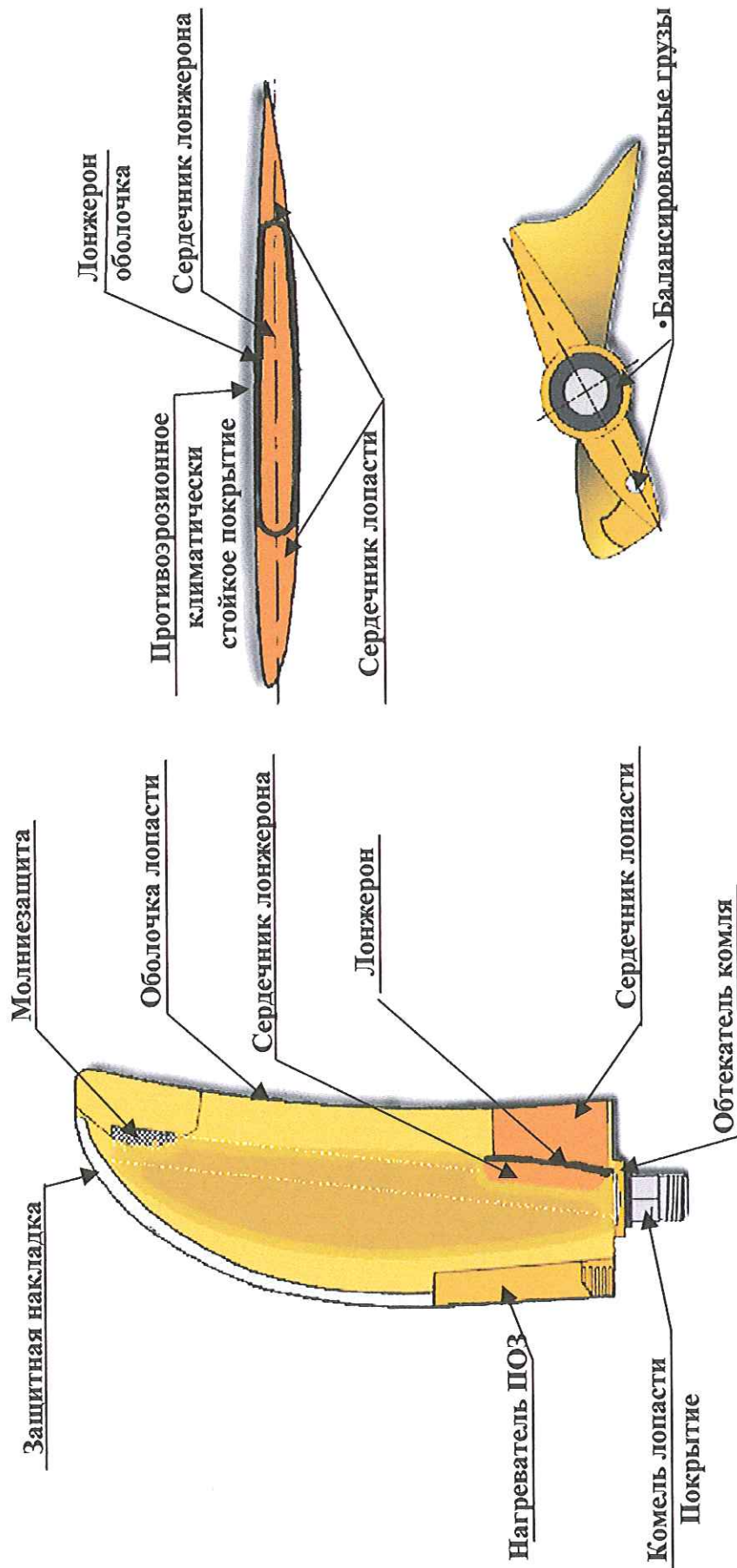


Рис.4

Проектирование композитных лопастей

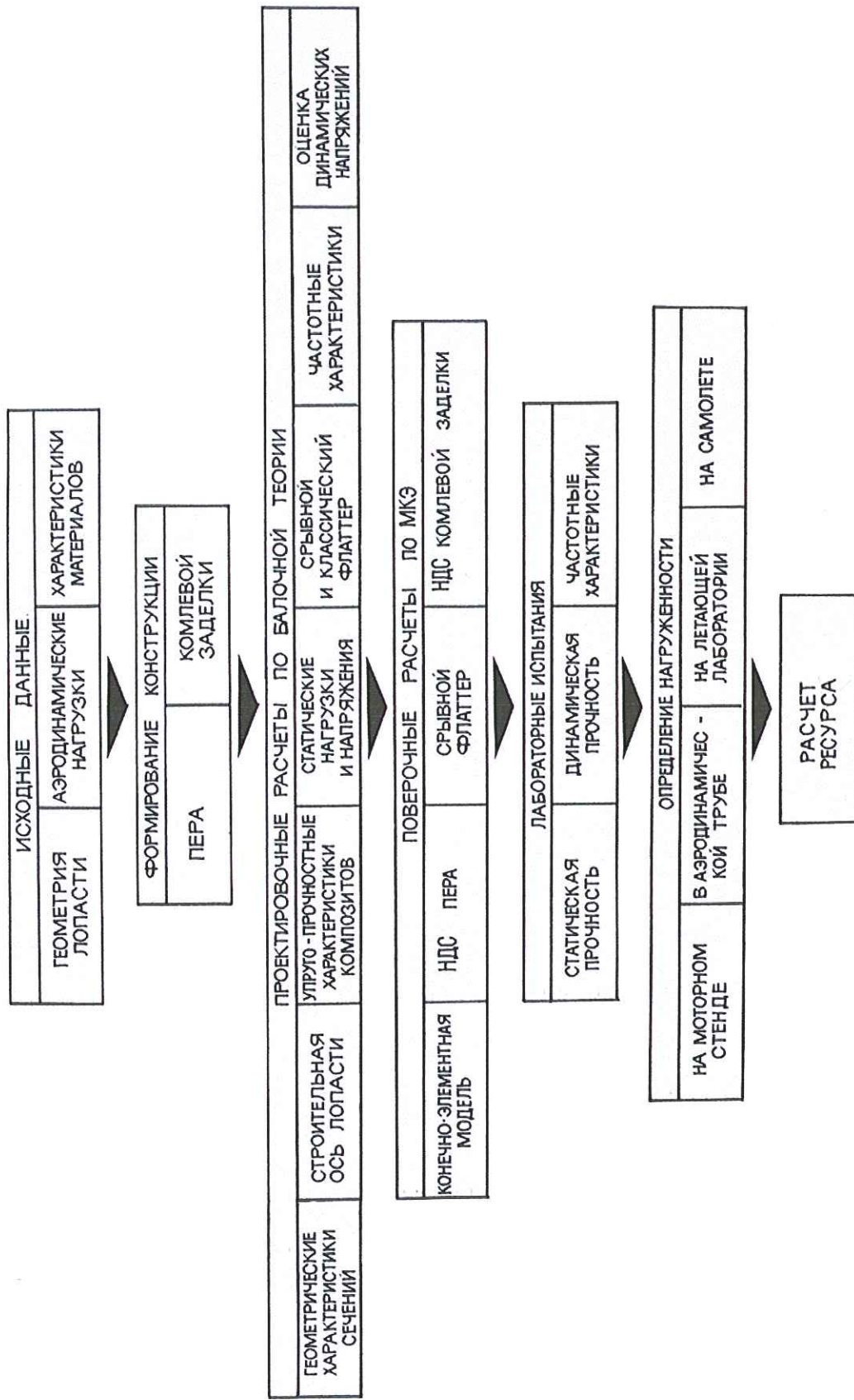
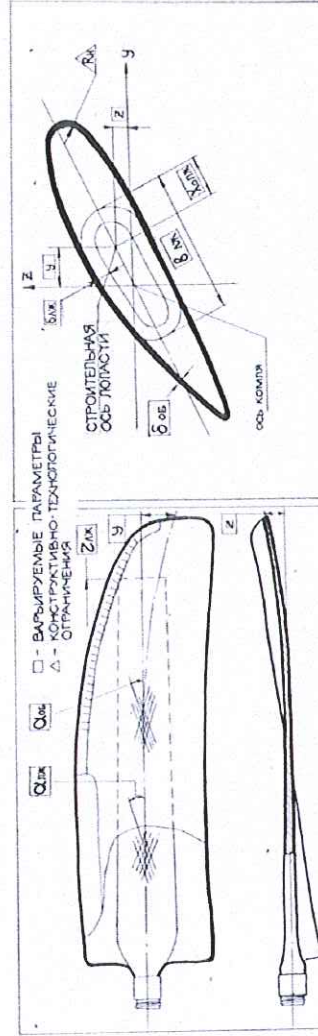
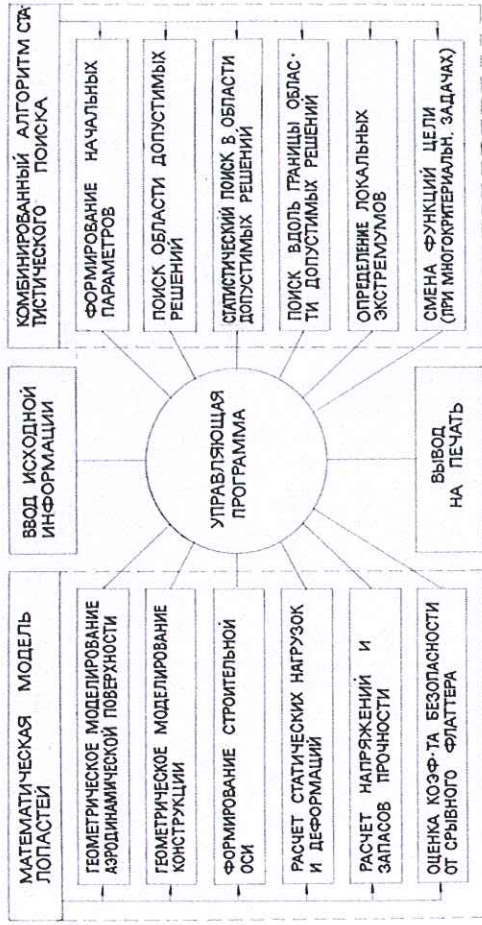


Рис.5

Многопараметрическая оптимизация композитных лопастей (Балочная Методика)



ОСОБЕННОСТИ

- ПРИМЕНЯЕТСЯ ДЛЯ ПРЯМЫХ И СЛАБОСАБЛЕ-ВИДНЫХ ЛОПАСТЕЙ.
- ОПРЕДЕЛЯЕТ МАКСИМАЛЬНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПО ЛИНИИ НАИБОЛЬШИХ ТОЛЩИН.
- ЧИСЛО АЛГОРИТМОВ. ВЫРАБАТЫВА - 14
- ЧИСЛО ВАРИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ - 25 (возможно до 100)
- ЧИСЛО ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ (возможно до 50)

ПРОГРАММА ПОЗВОЛЯЕТ

- ПРОВОДИТЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ С УЧЕТОМ БОЛЬШЕГО ЧИСЛА ВАРИРУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ И КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ (МИНИМАЛЬНЫЙ ВЕС ПРИ ЗАДАЧЕ ЗАПАСОК).
- ОПРЕДЕЛЯТЬ ВОЗМОЖНОСТЬ СОЗДАНИЯ ЛОПАСТИ ИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ПОД ЗАДАННУЮ АЭРОДИНАМИЧЕСКУЮ ГЕОМЕТРИЮ.
- ОПРЕДЕЛЯТЬ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРИАЛОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ РЕАЛИЗАЦИЮ ЗАДАННОЙ ГЕОМЕТРИИ.
- СНИЖЕНИЕ ВЕСА ЛОПАСТИ НА 15 ± 20 %
- СОКРАЩЕНИЕ СРОКОВ И ТРУДОЕМКОСТИ ПРОЕКТА.

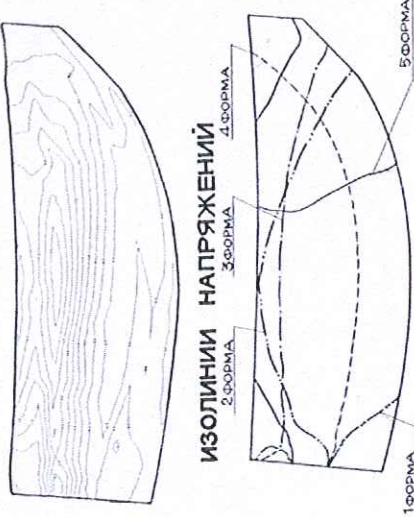
Рис.6

Расчет лопасти МКЭ

ОСОБЕННОСТИ

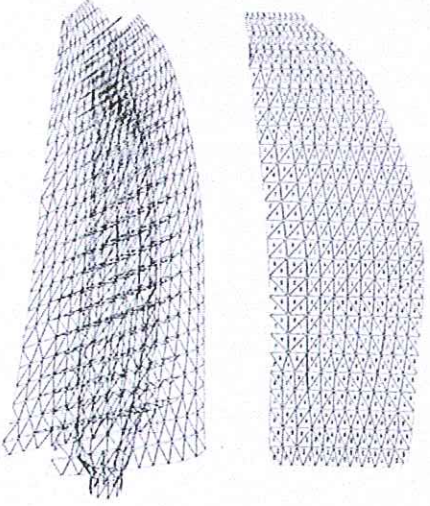
- РАСЧЕТ НДС В ПОЛЕ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ И АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ СИЛ;
- ЧАСТОТНЫЙ АНАЛИЗ В ОКРЕСТНОСТИ РАВНОВЕСНОГО ПОЛОЖЕНИЯ НАГРУЖЕННОЙ ЛОПАСТИ;
- СПЕЦИАЛЬНЫЙ МНОГОСЛОЙНЫЙ ОБОЛОЧЕЧНЫЙ КОНЕЧНЫЙ ЭЛЕМЕНТ;
- ГЕОМЕТРИЧЕСКИ НЕЛИНЕЙНАЯ ПОСТАНОВКА;
- УЧЕТ АНИЗОТРОПИИ МАТЕРИАЛА.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

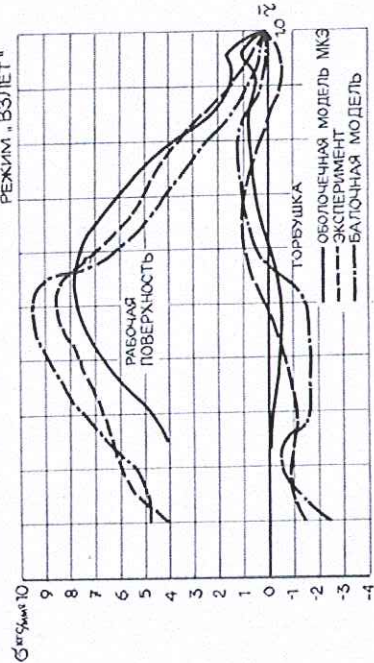


УЗЛОВЫЕ ЛИНИИ СОБСТВЕННЫХ ФОРМ

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНАЯ МОДЕЛЬ



СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА С ЭКСПЕРИМЕНТОМ



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НОРМАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ЛИНИИ НАИБОЛЬШИХ ТОЛЩИН, ЛОПАСТЬ СВ-34

Расчет комлевой заделки МКЭ

РАЗРАБОТАНО :

- КОНТАКТНАЯ ЗАДАЧА В ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ ПОСТАНОВКЕ ;
- МЕТОД ПОДКОНСТРУКЦИЙ ;
- УЧЕТ СТРУКТУРНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ;
- АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ГЕНЕРАЦИЯ СЕТОК И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ .

СОЗДАЕТСЯ :

- ТРЕХМЕРНАЯ КОНТАКТНАЯ ЗАДАЧА С УЧЕТОМ ТРЕНИЯ ;
- ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАДАЧА ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ .

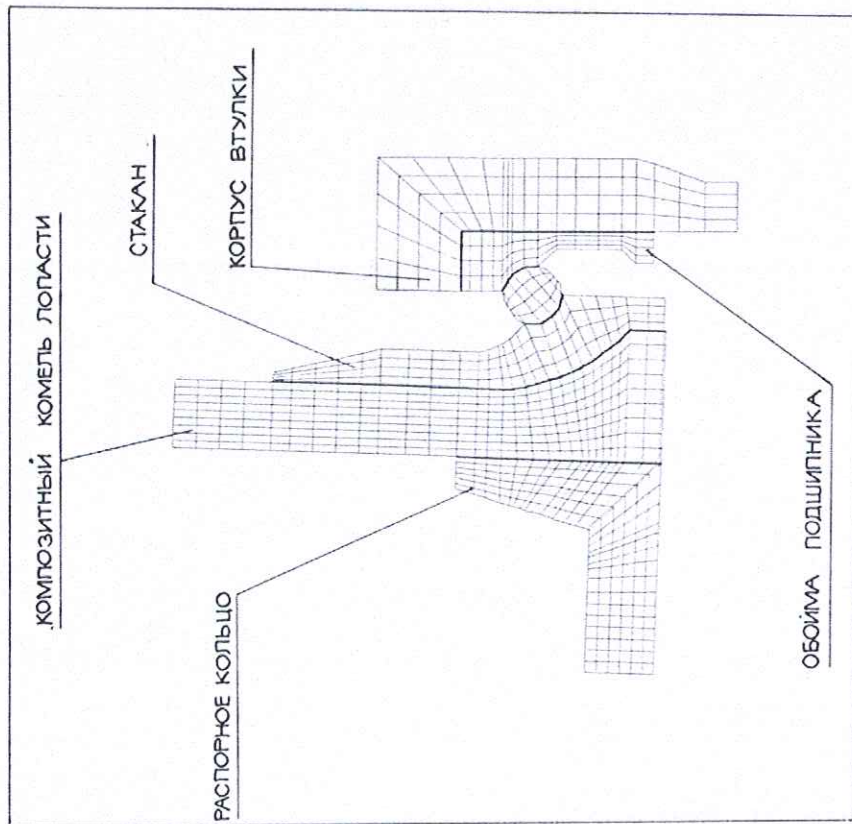
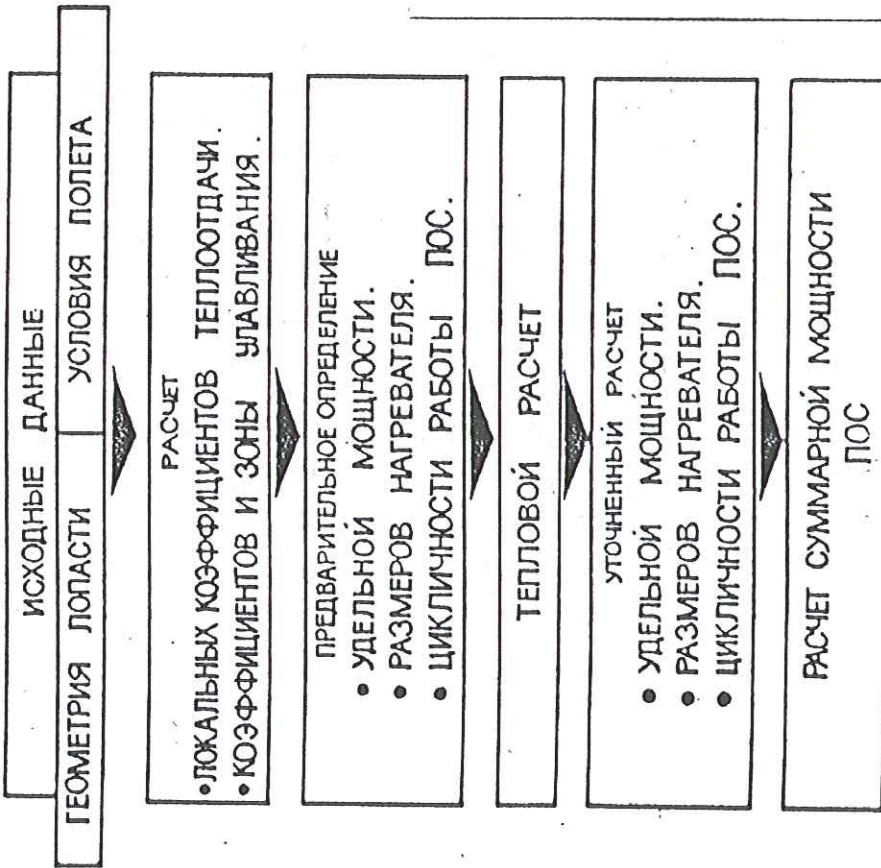


Рис.8

Расчет электро-тепловых ПОС винтовентиляторов (ПОЗ лопасти)



«Аэросила»
Научно-производственное
предприятие



РЕЖИМНЫЕ ПАРАМЕТРЫ

$$t_n = -40 \div +60 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$H = 0 \div 11000 \text{ м}$$

$$V = 0 \div V_{\text{MAX}}, \text{ км/час}$$

РАСЧЕТНО - КОНСТРУКТИВНАЯ СХЕМА

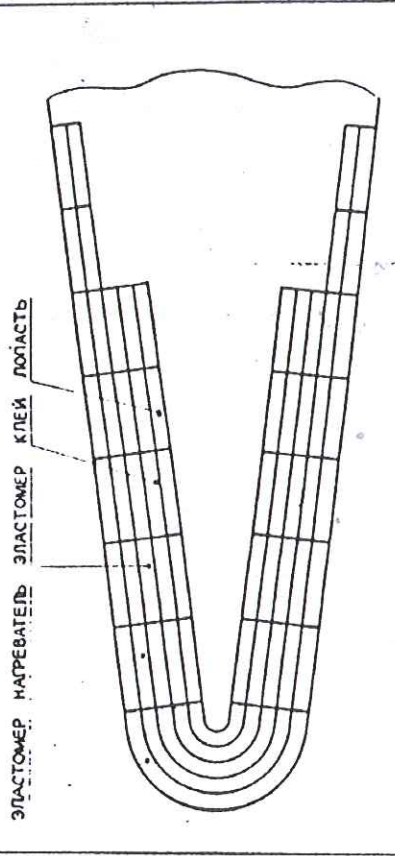
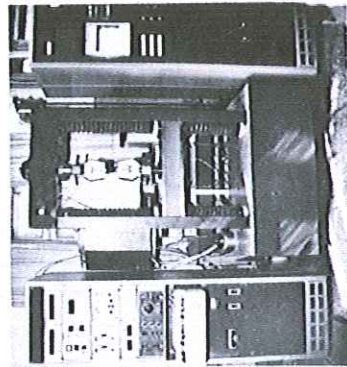


Рис.9

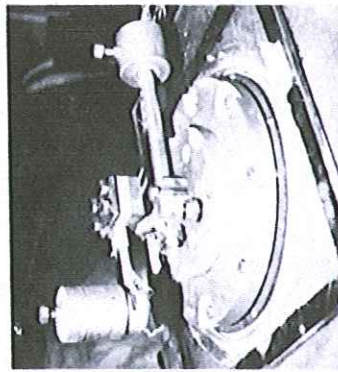
Испытания на образцах

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГО-ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИТОВ



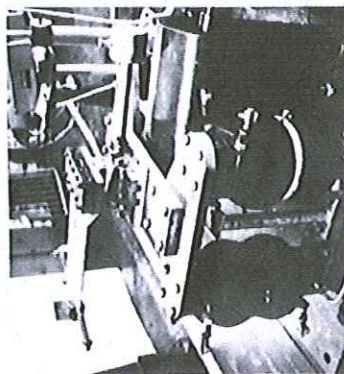
СТАНДАРТНЫЕ И НЕСТАН-
 ДАРТНЫЕ ХАРАКТЕРИС-
 ТИКИ КОМПОЗИТОВ.

УСТАЛОСТНЫЕ КОМПОЗИТОВ



- КОНСОЛЬНЫЙ ЗНАКОПЕРЕ-
 МЕННЫЙ ИЗГИБ.
- СИММЕТРИЧНОЕ РАСТЯЖЕ-
 ЖЕНИЕ - СЖАТИЕ (ВИАМ)
- СИММЕТРИЧНОЕ РАСТЯЖЕ-
 ЖЕНИЕ-СЖАТИЕ С КРУЧЕНИЕМ
 (ЦАГИ)

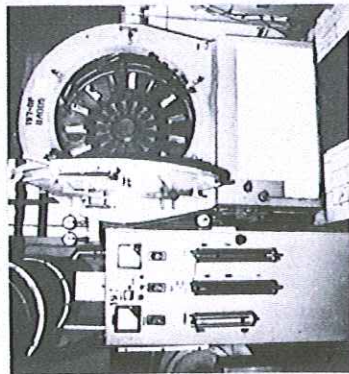
ПОЭЛЕМЕНТНЫЕ



ВЫБОР КОНСТРУКЦИИ И
 МАТЕРИАЛОВ КРОМОК
 ЛОПАСТЕЙ.

НАГРУЖЕНИЕ:
 ЗНАКОПЕРЕМЕННЫЙ ИЗГИБ
 С КРУЧЕНИЕМ.

НА ЭРОЗИОННУЮ СТОЙКОСТЬ



- ГИДРООБРАЗИВНАЯ ЭРОЗИЯ
- ПЫЛЕВАЯ ЭРОЗИЯ (НА СПЕЦ-
 УСТАНОВКАХ В ВИАМЕ)
- КАПЛЕУДАРНАЯ ЭРОЗИЯ
 (НА СПЕЦСТЕНДЕ)
- УСТОЙЧИВОСТЬ К ВОЗДЕЙ-
 СТВИЮ ЩЕБНЕМ (НА СПЕЦ-
 УСТАНОВКАХ В ВИАМЕ)

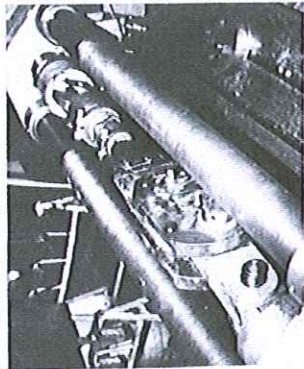
ИСПЫТАНО БОЛЕЕ 6000 ОБРАЗЦОВ

Рис.10

Статические и динамические испытания

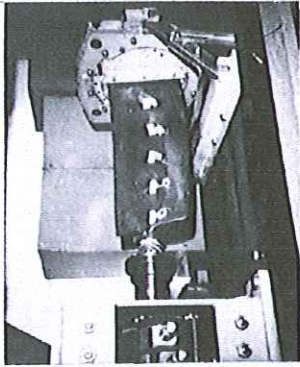
Статические

КОМПЛЕКТНОЙ ЗАДЕЛКИ



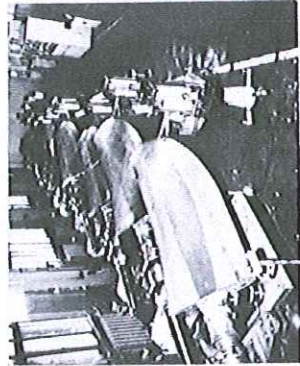
ИСПЫТАНО:
80
 ЛОПАСТЕЙ

ПЕРА



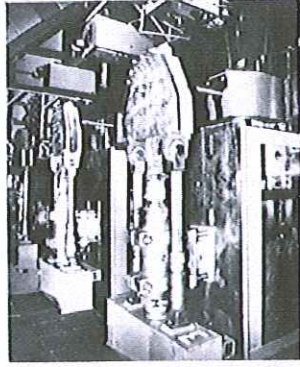
ПОЛУЧЕНЫ
 ЗАПАСЫ
 ПРОЧНОСТИ: ≥ 5 ≥ 5 ≥ 6
 ПО РАСТЯЖЕНИЮ ПО ИЗГИБУ ПО КРУЧЕНИЮ

Динамические



450
 ЛОПАСТЕЙ

80
 ЛОНЖЕРОНОВ
 И ЗАДЕЛОК



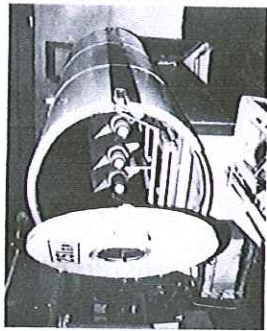
НАРАБОТКА НА ДИНАМИЧЕСКИХ СТЕНАХ - $> 350 * 10^3$ час.

ВНЕАРЕНА: АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ И РЕГИСТРАЦИИ ИСПЫТАНИЙ /ОБЕСПЕЧИВАЕТ ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ОБРАБОТКУ ЗАМЕРА ДО 100 ТОЧЕК СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ /;

- АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОДАЕРЖАНИЯ ПАРАМЕТРОВ И ОТКЛЮЧЕНИЯ СТЕН-ДОВ.

Климатические испытания

ЛОПАТЬ СВ-27
В КАМЕРЕ ВЛАЖНОСТИ



- УСТОЙЧИВОСТЬ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ВЛАГИ И МОРСКОГО СОЛЕНОГО ТУМАНА.

УСТАЛОСТНЫЕ
С ДОЖДЕВАНИЕМ
(ПРОВЕРКА ПОС)



- УСТОЙЧИВОСТЬ ПОС К ДИНАМИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ В УСЛОВИЯХ ДОЖДЕВАНИЯ.

УСТАЛОСТНЫЕ
ПРИ $t = \pm 60^{\circ}\text{C}$



- УСТОЙЧИВОСТЬ К ДИНАМИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ ПРИ $t = -60^{\circ}\text{C}$, А ТАКЖЕ ПРИ ТЕРМОЦИКЛИРОВАНИИ ОТ $+60$ ДО -60°C

УСТАЛОСТНЫЕ
ПРИ $t = +60^{\circ}\text{C}$

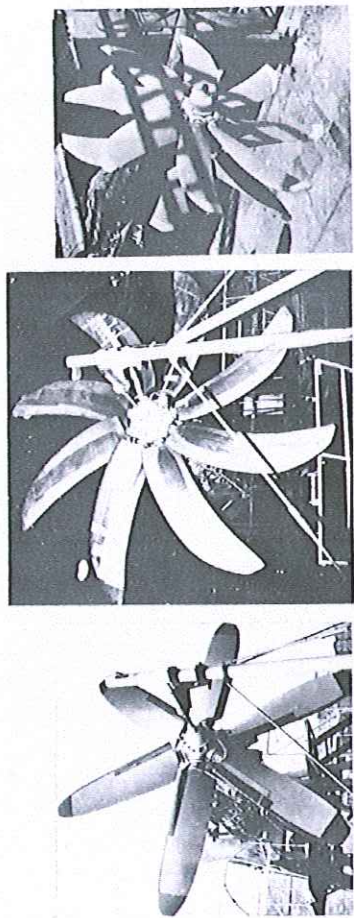


- УСТОЙЧИВОСТЬ К ДИНАМИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ $t = +60$

Рис.12

Испытания в составе двигательных установок

Моторно-стендовые испытания

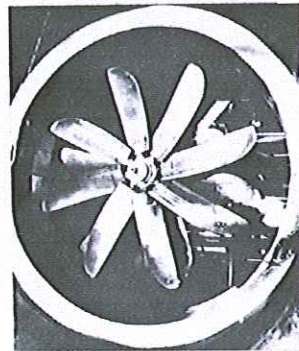


ОПРЕДЕЛЕНИЕ: • ОТСУТСТВИЯ СРЫВНОГО ФЛАТТЕРА;
• НАГРУЖЕННОСТИ;

• ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СОВМЕСТНО С
ДВИГАТЕЛЕМ И САУ.

**НАРАБОТКА НА МОТОРНЫХ СТЕНДАХ ВИНТОВ С
КОМПЗИТНЫМИ ЛОПАСТЯМИ - 20000 ЧАС.
ЛИДЕРНАЯ НАРАБОТКА - 2500 ЧАС.**

Испытания в аэродинамической трубе



- ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ
- СНЯТИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК
- ПРОВЕРКА ОТКАЗНЫХ СИТУАЦИЙ.

Рис.13



Противообледенительная система (особенности работы и виды испытаний)

ПРОТИВООБЛЕДЕНИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧИВАЕТ:

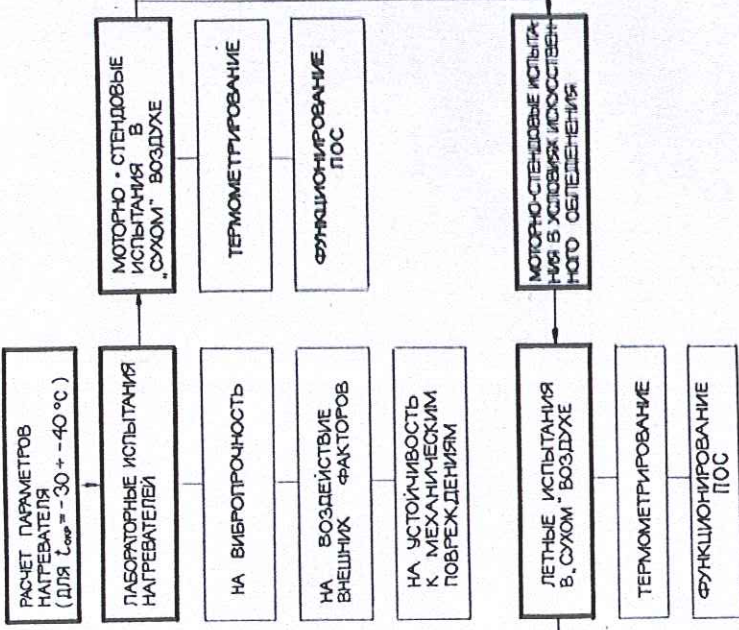
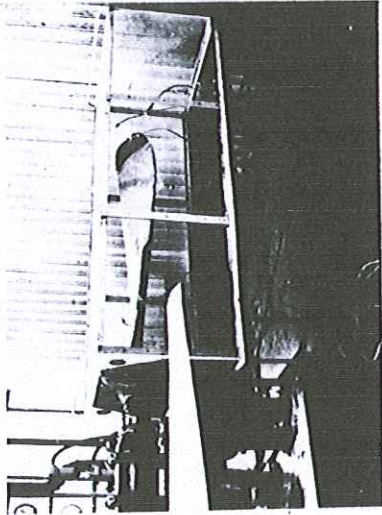
- АВТОМАТИЧЕСКОЕ ЦИКЛИЧЕСКОЕ ВКЛЮЧЕНИЕ
 $\Delta \tau = 10 \div 50$ СЕК.
- АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ РАБОТОСПОСОБНОСТИ НАГРЕВАТЕЛЕЙ ПО ТОКУ (ПО ПАДЕНИЮ ТОКА В ФАЗЕ).

$$\Delta \tau = f(t^{\circ} \text{воздуха})$$

- АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КОНТРОЛЬ РАБОТОСПОСОБНОСТИ НАГРЕВАТЕЛЕЙ ПО ТОКУ (ПО ПАДЕНИЮ ТОКА В ФАЗЕ).

ПАРАМЕТРЫ НАГРЕВАТЕЛЕЙ

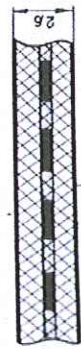
- ДЛИНА ~ ДО $(0,5 \div 0,6) \cdot R$ ВИНТА
- ШИРИНА ~ 15% ОТ ХОРДЫ ЛОПАСТИ
- ТОЛЩИНА ~ $1,9 \div 2,9$ ММ.
- УДЕЛЬНАЯ МОЩНОСТЬ ~ $1 \div 3$ Вт/см²
- НАПРЯЖЕНИЕ - 200 В, ЧАСТОТА - 400 Гц.
- ТОЧНОСТЬ ОМИЧЕСКОГО - $\pm 1,5\%$
- СОПРОТИВЛЕНИЯ



ТИПЫ НАГРЕВАТЕЛЕЙ

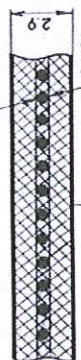
СЕРИЙНЫЕ

ЛЕНТОЧНЫЙ В ЭЛАСТОМЕРЕ



СЛОЖЕН К РАСТРЕСКИВАНИЮ ПРИ ВИБРОНАГРУЗКАХ

ТКАНО-ПРОВОЛОЧНЫЙ ОБРЕЗИНЕННЫЙ



НИЗКАЯ СТОЙКОСТЬ К МЕХАНИЧЕСКИМ ПОВРЕЖДЕНИЯМ

НОВЫЙ

ПРОВОЛОЧНЫЙ В ЭЛАСТОМЕРЕ



ВИБРОСТОЕК, СТОЕК К МЕХАНИЧЕСКИМ ПОВРЕЖДЕНИЯМ

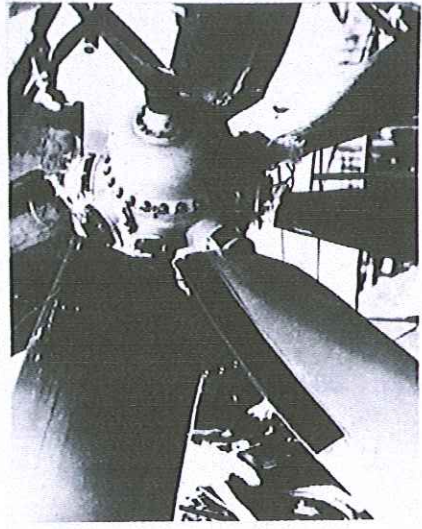
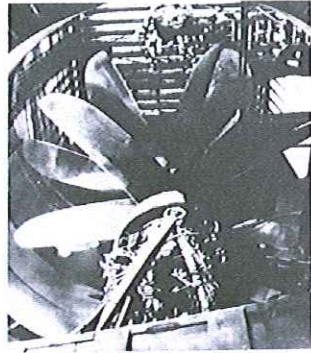


Рис.14

Специальные испытания

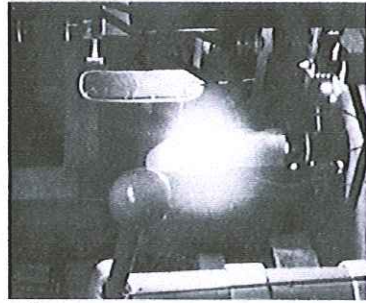


На птичестойкость



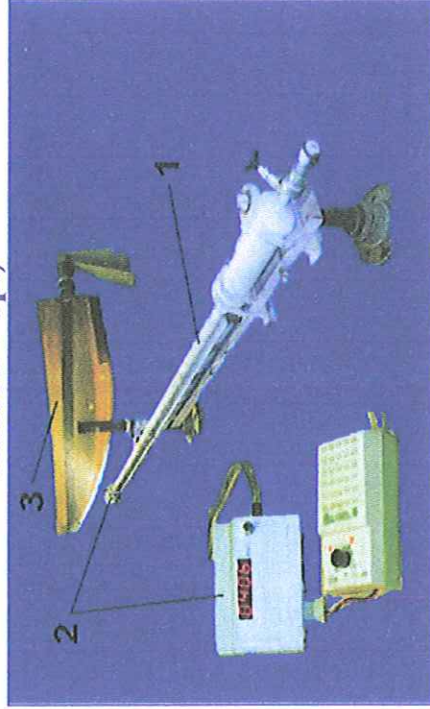
- СОУДАРЕНИЕ С ПТИЦАМИ ВЕСОМ ДО 18 КГ.

На молниестойкость



- ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ РАЗРЯДОМ С ПАРАМЕТРАМИ:
 - ИМПУЛЬСНЫЙ ТОК 200 КА И ЗАРЯД ≥ 4 Кл.
 - ПОСТОЯННАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ТОКА С АМПЛИТУДОЙ 200 А И ПЕРЕНОСИМЫЙ ЗАРЯД ≥ 13 Кл.
- ПРОВЕРКА ЦЕПИ МЕТАЛЛИЗАЦИИ.
- ПРОВЕРКА НА ИЗБИРАТЕЛЬНОСТЬ

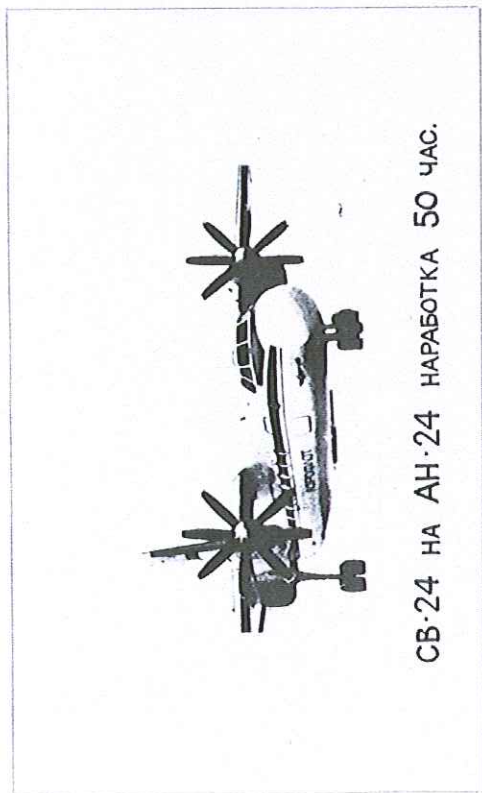
На ударостойкость предметами аэродромной засоренности (бетон и гранитный камень массой 7 гр.)



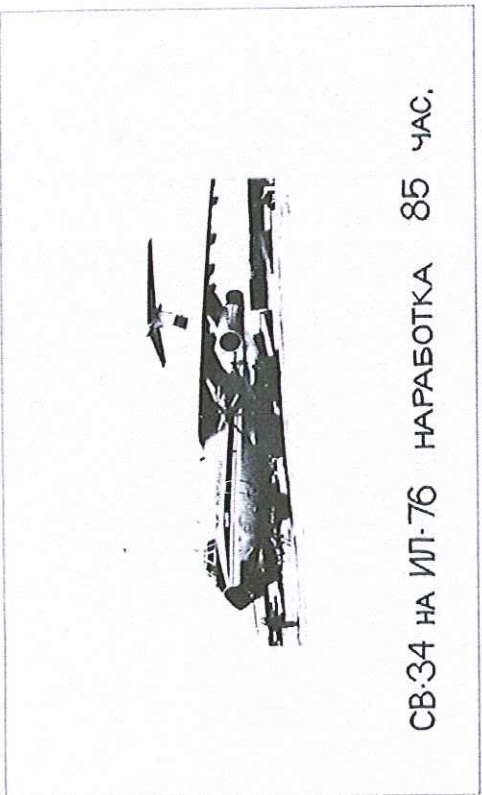
1 - газовая пушка; 2 - электронная система измерения скорости метаемого тела; 3 - лопать.

- На стойкость к повреждениям боевыми средствами поражения
- Осколки ракет массой 3 гр
- Осколко-фугасный снаряд калибром 30 мм
- Снаряд авиационной пушки калибром 30 мм

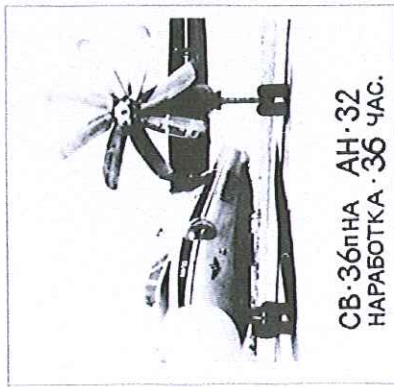
Испытания на летающих лабораториях



СВ-24 на АН-24 НАРАБОТКА 50 ЧАС.



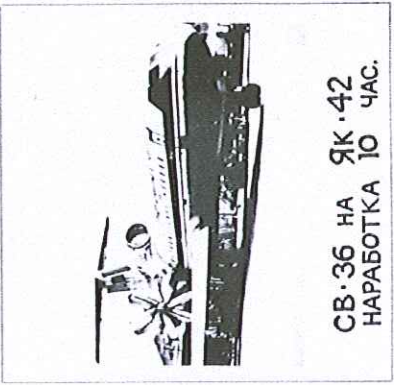
СВ-34 на ИЛ-76 НАРАБОТКА 85 ЧАС.



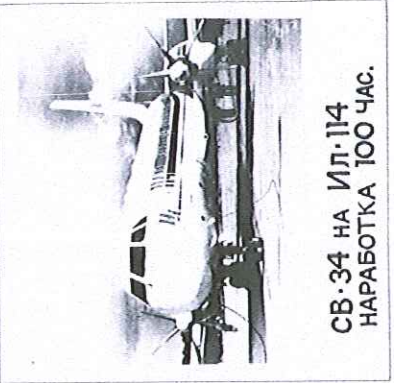
СВ-36 на АН-32
 НАРАБОТКА 36 ЧАС.



СВ-36 на ИЛ-76
 НАРАБОТКА 70 ЧАС.



СВ-36 на ЯК-42
 НАРАБОТКА 10 ЧАС.



СВ-34 на ИЛ-114
 НАРАБОТКА 100 ЧАС.

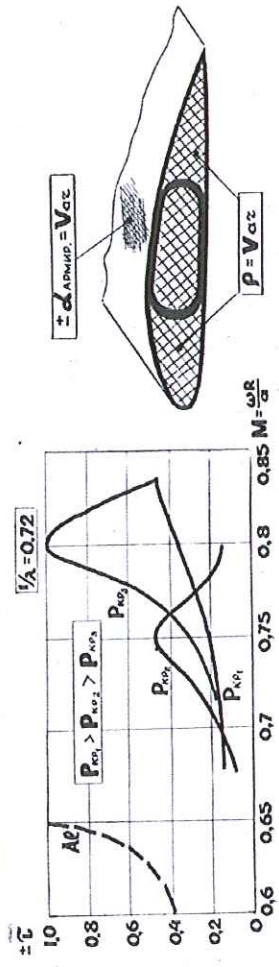
ИССЛЕДОВАНИЕ:

- НАГРУЖЕННОСТИ ;
- ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ;
- АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ;
- ПОТОКА НА ВХОДЕ В ДВИГАТЕЛЬ .

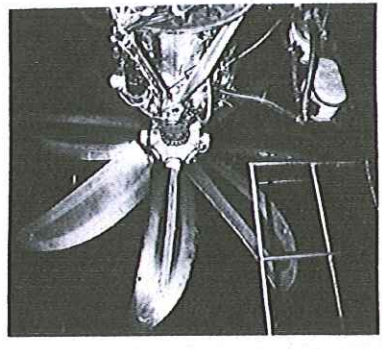
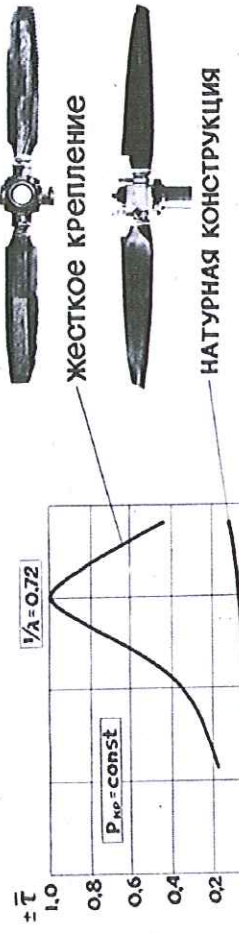
Исследования срывного флаттера композитных лопастей

$$\pm \tau = f(P_{кр}, n, \varphi_{лоп})$$

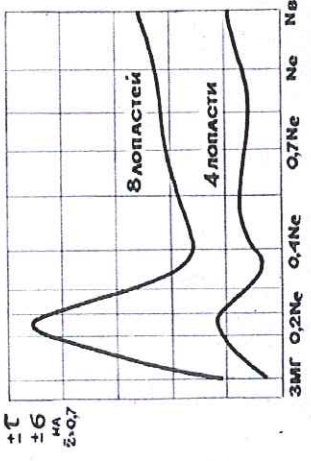
$$\frac{1}{\lambda} = \frac{P_{кр} \pi b}{0,8R\omega} \sqrt{1 - 0,64M^2}$$



Влияние условий крепления лопасти



Вихревой флаттер

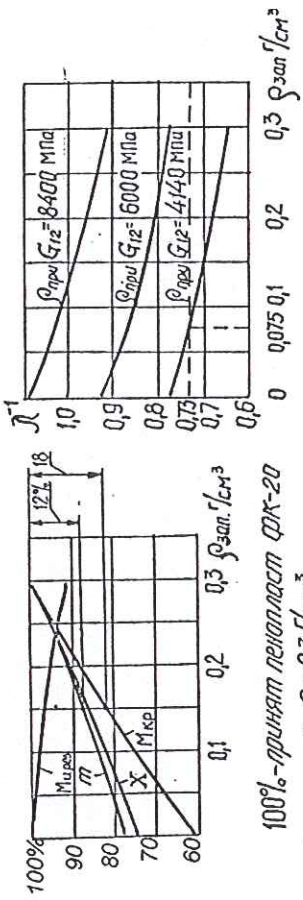


Для композитных лопастей $[\lambda^{-1}] \geq 0,73$ (предварительно)

- Исследование разновидностей флаттера на динамически подобных моделях.
- Испытания натуральных лопастей.

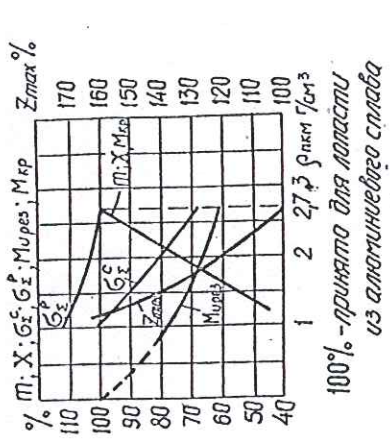
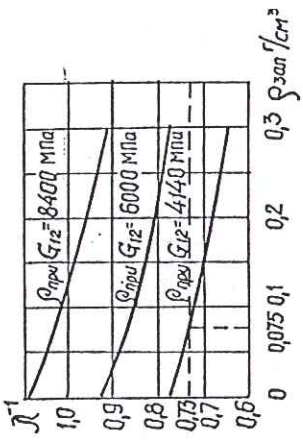
Рис.17

Влияние характеристик ПКМ и пенопласта на характеристики лопасти

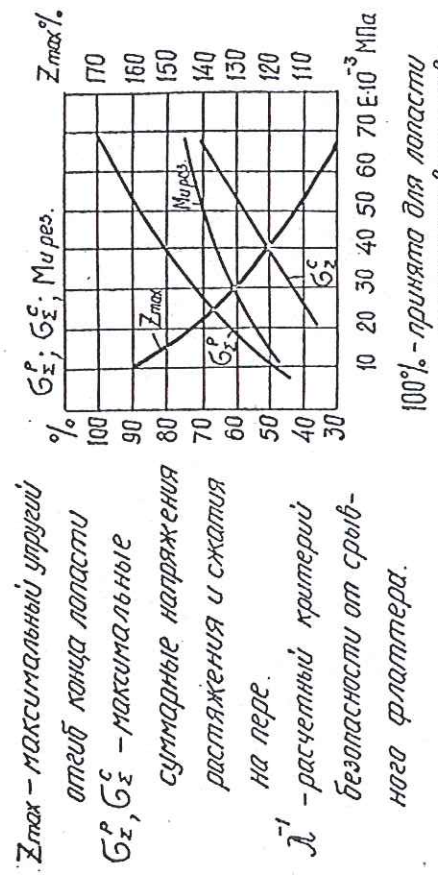


100% - принята пенопласт ФК-20 с $\rho = 0.3 \text{ Г/см}^3$

- $\rho_{\text{пеноп}}$ - плотность пенопласта
- $\rho_{\text{ПКМ}}$ - плотность композита
- G_{12} - модуль сдвига
- E - модуль продольной упругости
- m - масса лопасти
- X - центробежная сила
- $M_{\text{кр}}$ - крутящий момент
- $M_{\text{у рез}}$ - результирующий изгибающий момент в заделке.



100% - принята для лопасти из алюминия слабо



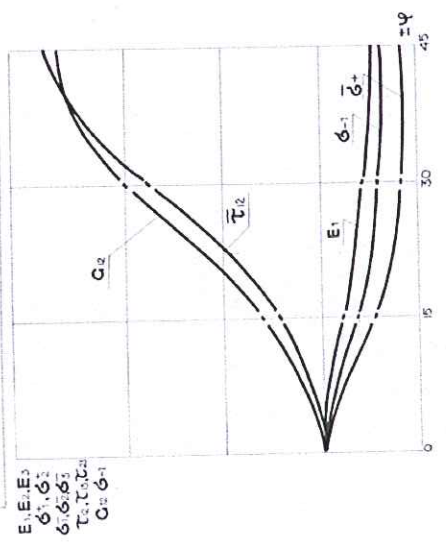
100% - принята для лопасти из алюминия слабо

- Z_{max} - максимальный упругий отгиб конца лопасти
- G_z, G_z^p - максимальные суммарные напряжения растяжения и сжатия на пере.
- λ^{-1} - расчетный критерий безопасности от срывного флаттера.

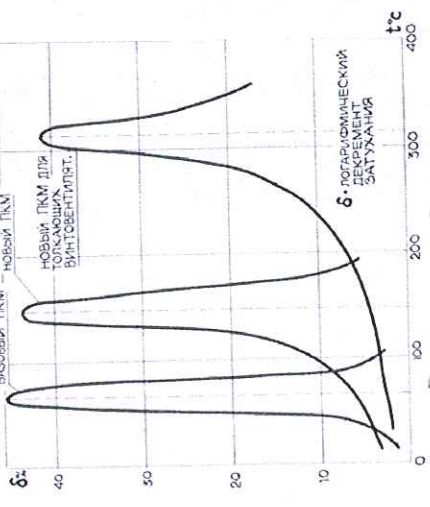


Направление экспериментальных исследований КОМПОЗИТОВ

УПРУГО-ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
 В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УГЛОВ АРМИРОВАНИЯ



ТЕПЛОСТОЙКОСТИ



ВЫНОСЛИВОСТИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ:
 • СООТНОШЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ НОРМАЛЬНЫХ И КАСАТЕЛЬНЫХ ($\pm\tau$) НАПРЯЖЕНИЙ.
 • КЛИМАТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ.

ВЫНОСЛИВОСТЬ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

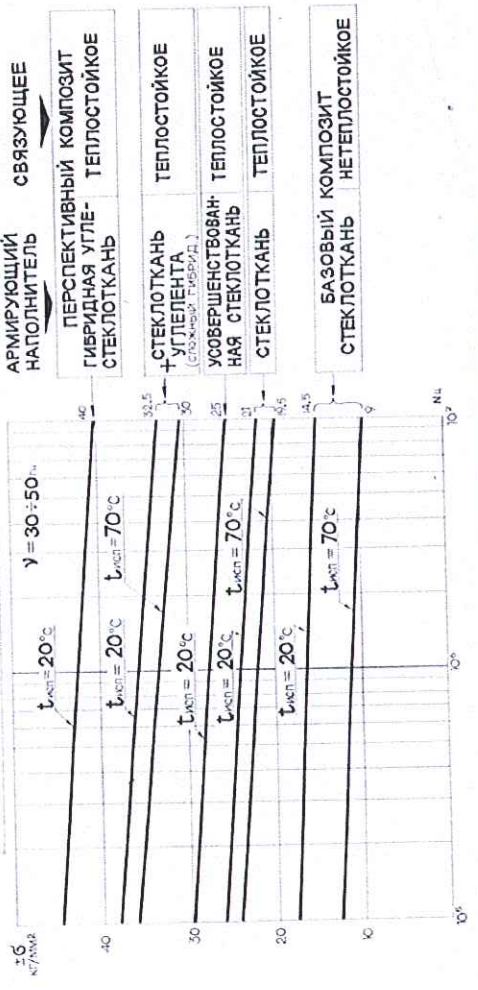
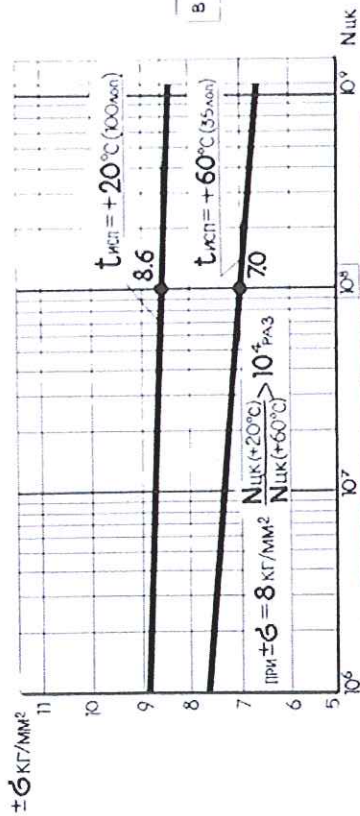
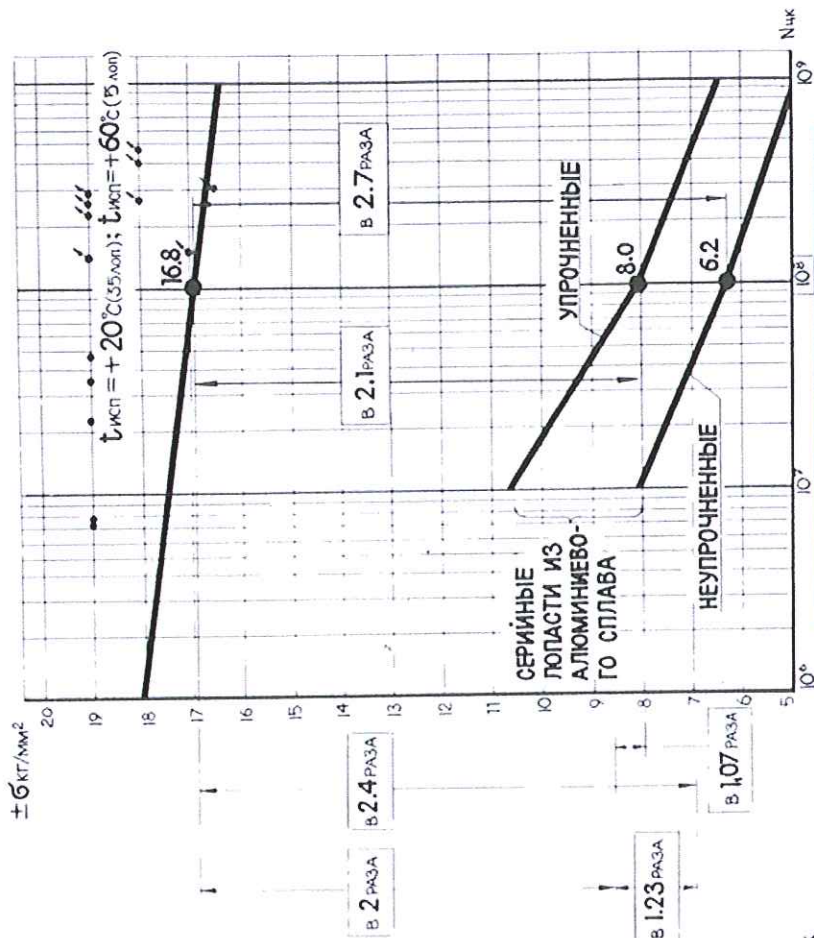


Рис.19

Исследование выносливости лопастей

Выводы:

- ТЕПЛОСТОЙКОСТЬ СВЯЗУЮЩЕГО СУЩЕСТВЕННО ВЛИЯЕТ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЛОПАСТЕЙ ПРИ $t_{РАБ} = +60^{\circ}C$.
- ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕПЛАСТИКА В КОМПОЗИТЕ ЗНАЧИТЕЛЬНО ПОВЫШАЕТ ВЫНОСЛИВОСТЬ.
- ВЫНОСЛИВОСТЬ КОМПОЗИТНЫХ ЛОПАСТЕЙ СВ-34 СУЩЕСТВЕННО ВЫШЕ АНАЛОГОВ ИЗ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ.



СВ-34 ИЗ НОВЫХ КОМПОЗИТОВ

ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПОЗИТОВ

ТЕПЛОСТОЙКОЕ

СТЕКЛОУГЛЕПЛАСТИК

СТЕКЛОПЛАСТИК

СВЯЗУЮЩЕЕ

ЛОНЖЕРОН

ОБОЛОЧКА

СВ-36 ИЗ БАЗОВОГО КОМПОЗИТА

НЕТЕПЛОСТОЙКОЕ

СТЕКЛОПЛАСТИК

СТЕКЛОПЛАСТИК

Рис.20

Выносливость лопастей сертифицированных воздушных винтов

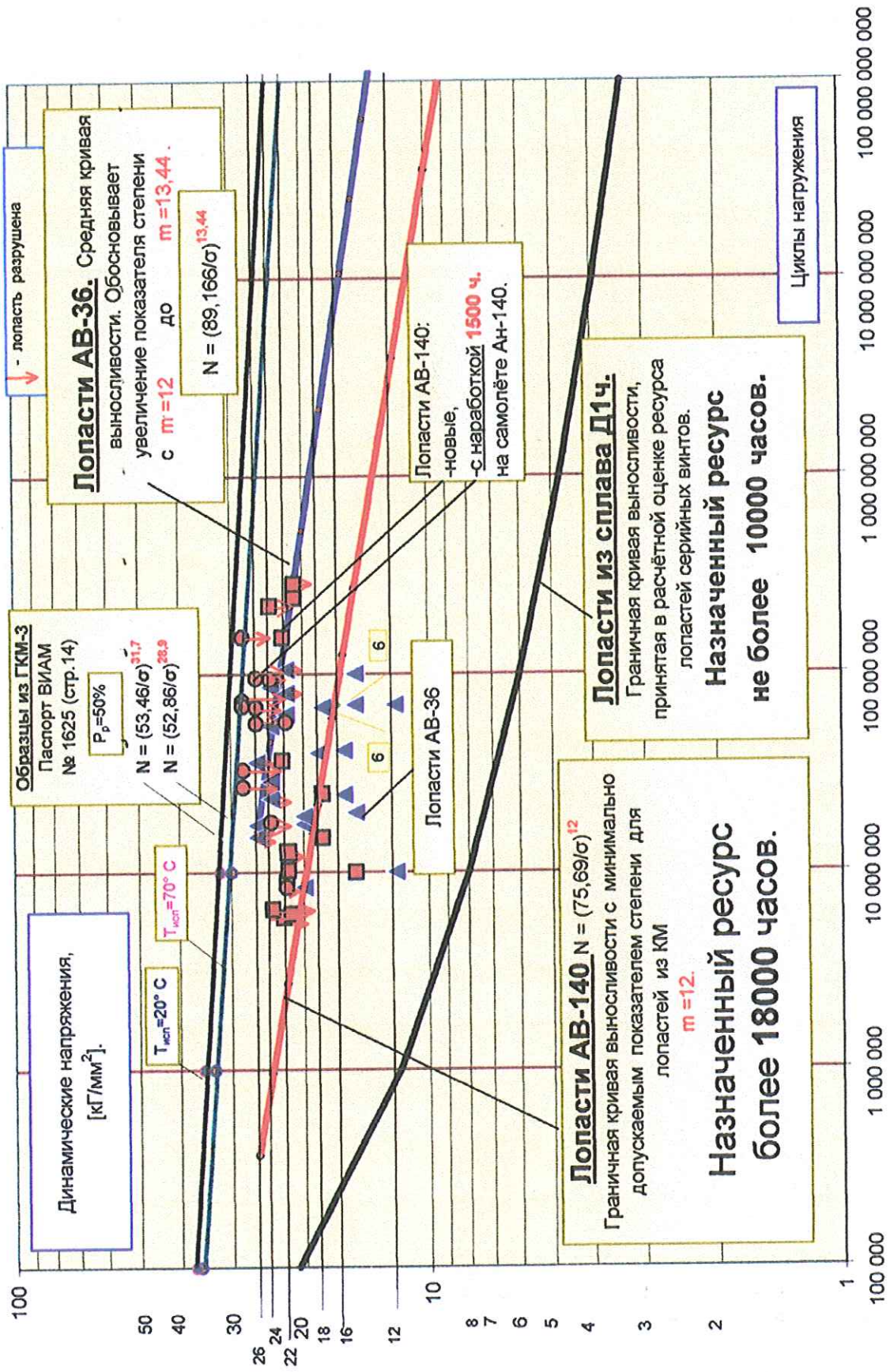
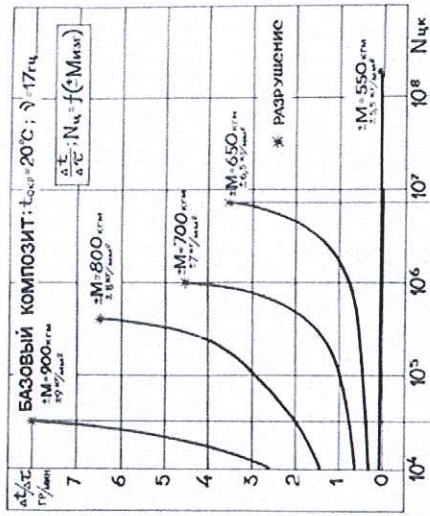
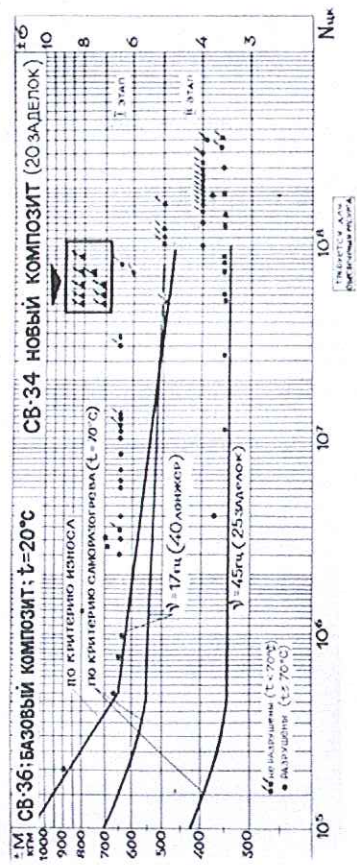
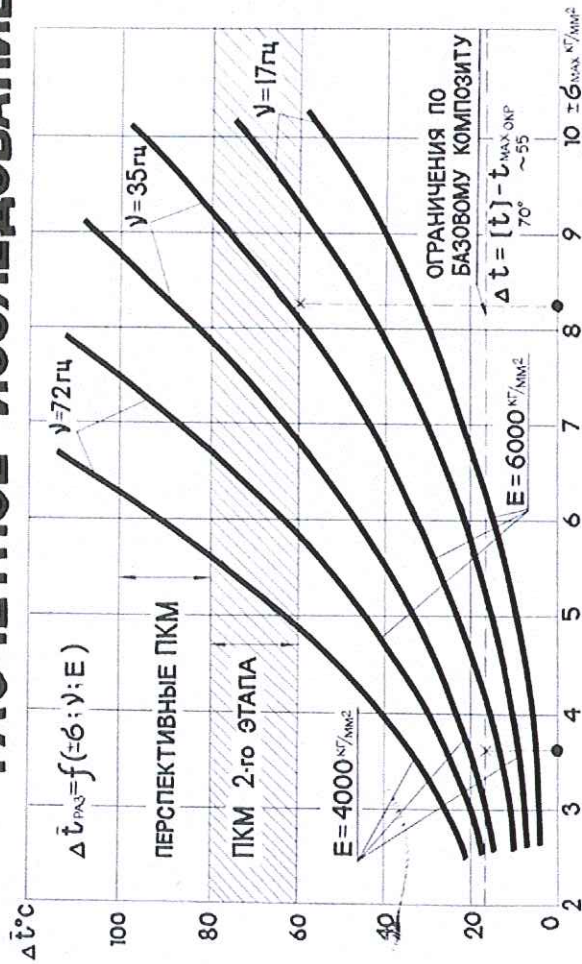


Рис.21

Исследования выносливости клеменных заделок



РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ САМОРАЗОГРЕВА



Выводы

- ЧАСТОТА НАГРУЖЕНИЯ РЕЗКО ВЛИЯЕТ НА ДОЛГО-ВЕЧНОСТЬ КЛЕМЛЕВЫХ ЗАДЕЛОК.
- СКОРОСТЬ САМОРАЗОГРЕВА КОРРЕЛИРУЕТ С НАГРУЖЕННОСТЬЮ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬЮ.
- ПОВЫШЕННАЯ ТЕМПЕРАТУРА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ СНИЖАЕТ ДОПУСТИМЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ.
- ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ЗАДЕЛОК НЕОБХОДИМО:
 - УВЕЛИЧИВАТЬ E_1 И G_{12} ПКМ.
 - УЛУЧШАТЬ УСЛОВИЯ ТЕПЛОТВОДА ИЗ ЗОНЫ САМОРАЗОГРЕВА.
 - ПОВЫШАТЬ ТЕПЛОСТОЙКОСТЬ (t_стекл) ПКМ.

Рис.22

Технологические направления по композитным лопастям

«Аэросила»
Научно-производственное
предприятие



ПРЕПРЕГОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

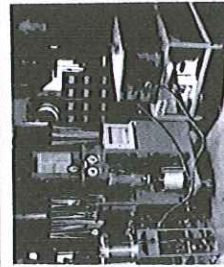
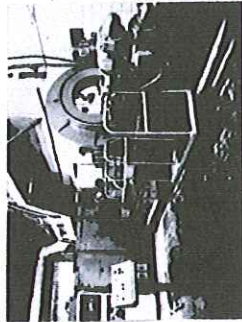
ЛОНЖЕРОН И ОБОЛОЧКА
ЛОПАСТИ ПОЛУЧАЮТСЯ ИЗ
РАСКРОЕННОГО ПРЕПРЕГА
МЕТОДОМ ПРЯМОГО ФОРМОВА-
ВАНИЯ В ЗАКРЫТЫХ ПРЕСС-
ФОРМАХ.

НАИБОЛЬШИЙ ВЫ-
БОР МАРОК
КОМПОЗИТА.

ВОЗМОЖНОСТЬ
МЕХАНИЗАЦИИ И
ГАРАНТИРОВАННАЯ
ТОЧНОСТЬ СБОРКИ
СИЛОВОГО ЛОН-
ЖЕРОНА.

МЕХАНИЗИРОВАННАЯ НАМОТКА ЛОНЖЕРОНА

ЛОНЖЕРОН СОБИРАЕТСЯ
МЕТОДОМ НАМОТКИ
ЛЕНТОЙ НА СТАНКЕ
С ПРОГРАММНЫМ УПРАВ-
ЛЕНИЕМ.



ПРОПИТКА ПОД ДАВЛЕНИЕМ И ВАКУУМОМ

ЛОНЖЕРОН И ОБОЛОЧКА
СВЯЖАЮТСЯ ИЗ СУХОЙ
ТКАНИ И ПРОПИТЫВАЮТ-
СЯ СВЯЗУЮЩИМ В ПРЕС-
СФОРМЕ.

• СТАБИЛЬНОЕ
КАЧЕСТВО
КОМПОЗИТА.
• ЛУЧШИЕ УСЛО-
ВИЯ ТРУДА.
• ПРОСТОТА И
ДЛИТЕЛЬНОСТЬ
ХРАНЕНИЯ РАСКРОЯ

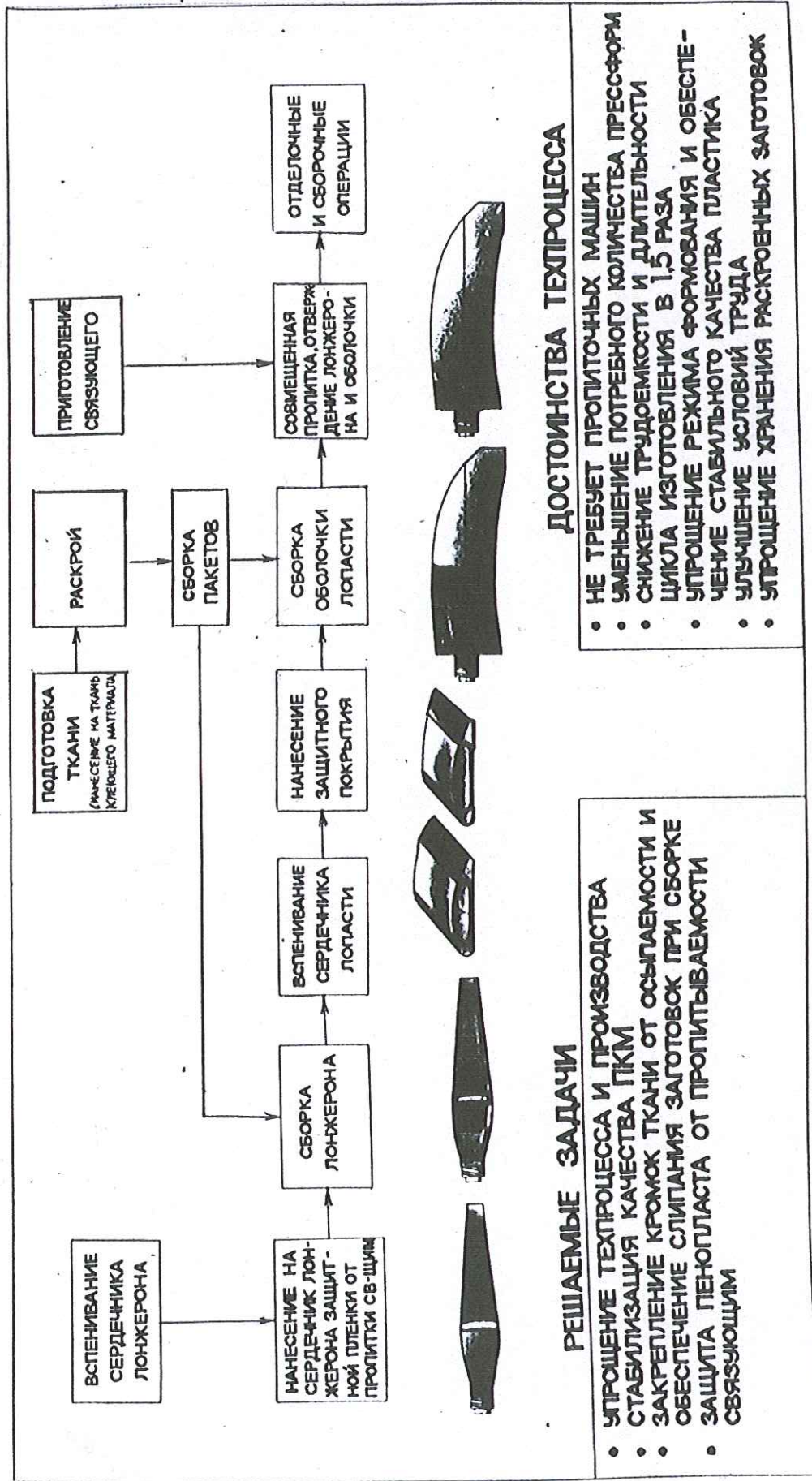
• МИНИМАЛЬНАЯ
ТРУДОЕМКОСТЬ
И УПРОЩЕНИЕ
КОМПОЗИТНОГО
ПРОИЗВОДСТВА
• МИНИМАЛЬНАЯ
СТОИМОСТЬ

ТЕХНОЛОГИЯ ЛОПАСТИ С ПОЛЫМ ЛОНЖЕРОНОМ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА

ЛОНЖЕРОН ИЗГОТОВЛЕН ИЗ
АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА
РОТАЦИОННОЙ РАСКАТКОЙ
ТРУБЫ С ПОСЛЕДУЮЩИМ
ФОРМОВАНИЕМ ЛОНЖЕРОНА
В ШТАМПЕ.



ВЫБОР ВАРИАНТА ТЕХПРОЦЕССА ЗАВИСИТ ОТ КОНКРЕТНЫХ ТРЕБОВАНИЙ И УСЛОВИЙ РАБОТЫ ВИНТА.



РЕШАЕМЫЕ ЗАДАЧИ

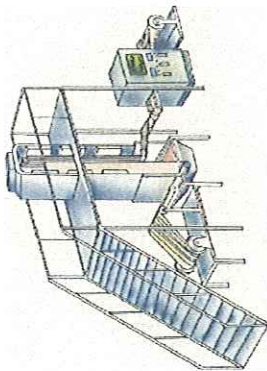
- УПРОЩЕНИЕ ТЕХПРОЦЕССА И ПРОИЗВОДСТВА
- СТАБИЛИЗАЦИЯ КАЧЕСТВА ПКМ
- ЗАКРЕПЛЕНИЕ КРОМОК ТКАНИ ОТ ОСЫПАЕМОСТИ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ СЛИПАНИЯ ЗАГОТОВОК ПРИ СБОРКЕ
- ЗАЩИТА ПЕНОПЛАСТА ОТ ПРОПИТЫВАЕМОСТИ СВЯЗУЮЩИМ

ДОСТОИНСТВА ТЕХПРОЦЕССА

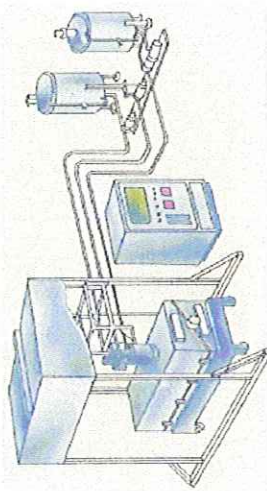
- НЕ ТРЕБУЕТ ПРОПИТОЧНЫХ МАШИН
- УМЕНЬШЕНИЕ ПОТРЕБНОГО КОЛИЧЕСТВА ПРЕССФОРМ
- СНИЖЕНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ И ДЛИТЕЛЬНОСТИ ЦИКЛА ИЗГОТОВЛЕНИЯ В 1,5 РАЗА
- УПРОЩЕНИЕ РЕЖИМА ФОРМОВАНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТАБИЛЬНОГО КАЧЕСТВА ПЛАСТИКА
- УЛУЧШЕНИЕ УСЛОВИЙ ТРУДА
- УПРОЩЕНИЕ ХРАНЕНИЯ РАСКРОЕННЫХ ЗАГОТОВОК

Рис.24

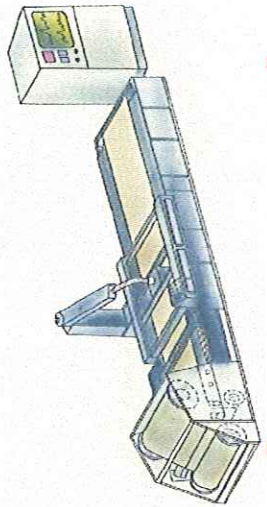
Оборудование для прогрессивного серийного производства композитных лопастей



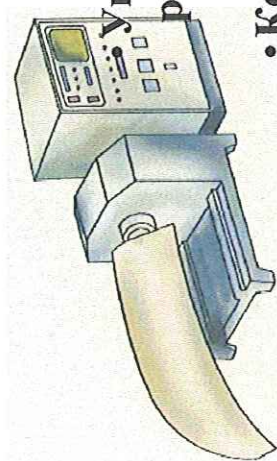
Пропиточная установка



Установка заливки
 пенопластовых элементов



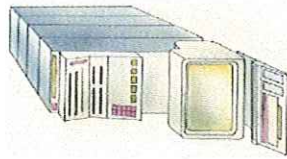
Раскрасочно-пакетирующий
 модуль РПМ - 28



Управление
 режимом

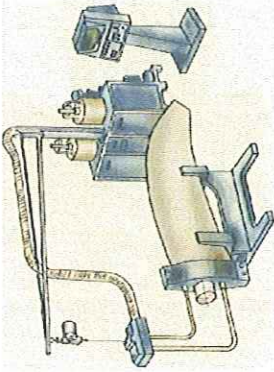
• Контроль

Электронные моментные
 весы ВМ - 50

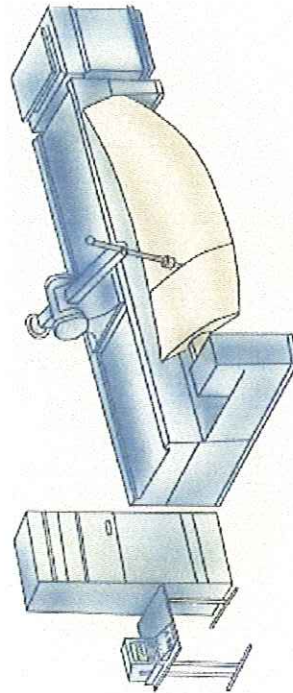


• Формирование
 документов

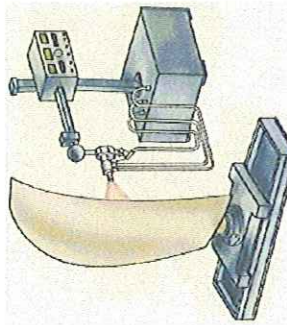
• Анализ



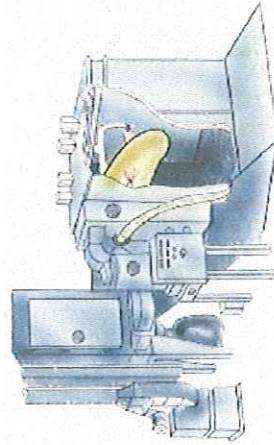
Установка для заливки
 полиуретановых элементов



Контрольно-измерительная система КИП-4



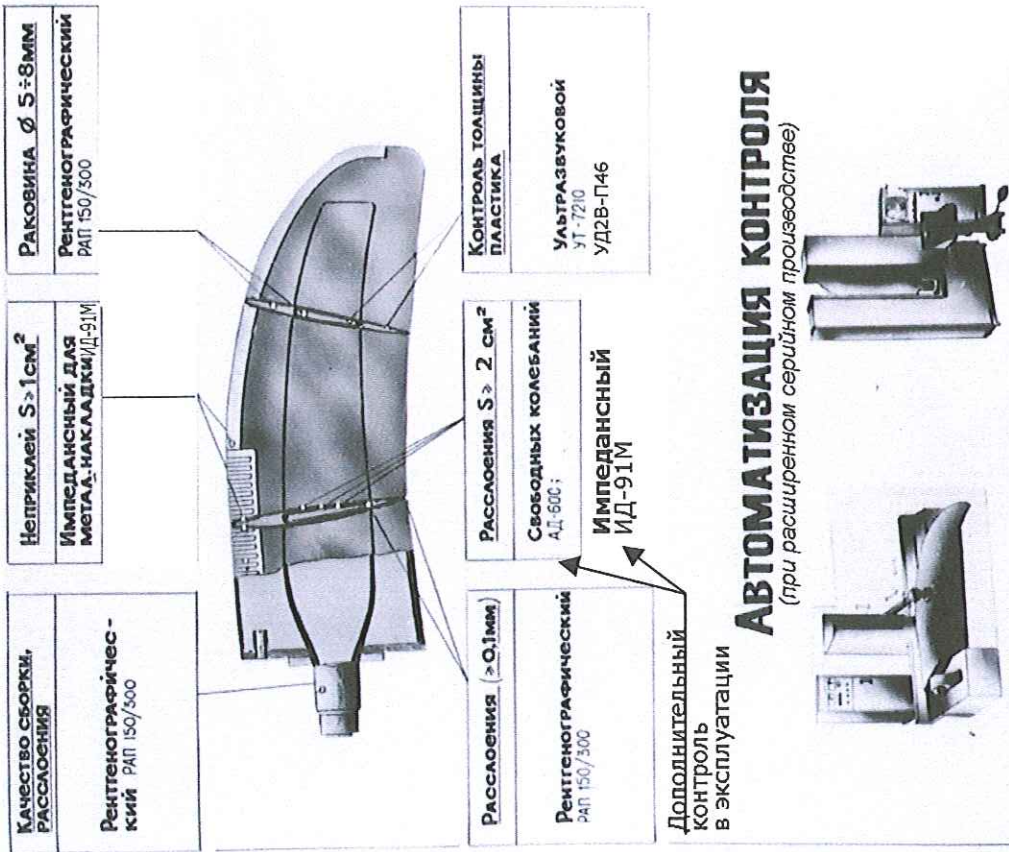
Установка для напыления
 защитного покрытия



Струйно-абразивная обработка лопастей
 под покраску

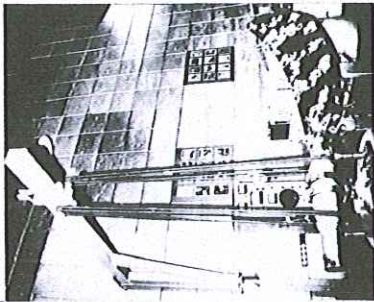
Неразрушающий контроль лопастей из ПКМ

В Производстве

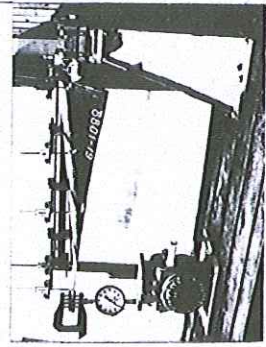


АКУСТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ РЕНТЕНТЕЛЕВИЗИОННЫЙ КОНТРОЛЬ
ПОВЫШАЕТ НАДЕЖНОСТЬ И ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ КОНТРОЛЯ.

Частотный контроль

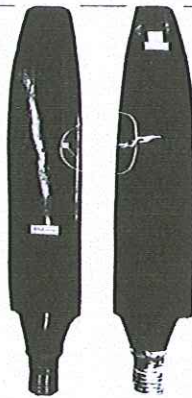
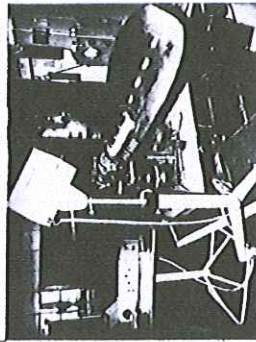


Определение стабильности деформаций



Определение стабильности жесткости и массовых характеристик

Теловизионный контроль



ОСОБЕННОСТИ:

Дефекты любого вида при динамическом нагружении выделяются на - большее количества тепла. Место разрушения совпадает с зоной повышенного разогрева при контроле. Скорость и температура саморазогрева связаны с долговечностью. $N_{ц} = f(\Delta t / \Delta T, t_{сам})$ Накопление повреждений при испытаниях влияет на скорость, температуру и размеры зоны саморазогрева. $S_{сам} = f(N_{ц}, \Delta t / \Delta T, t_{сам}, S_{сам})$

Рис.26

Повреждаемость и ремонтпригодность композитных лопастей



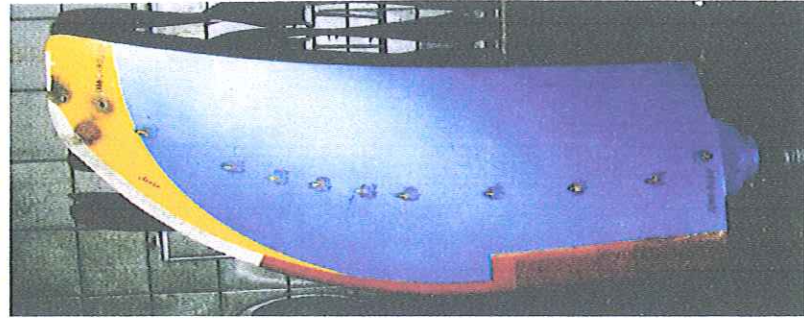
«Аэросила»
Научно-производственное
предприятие

Птицестойкость

Соударение с птицами не накладывает

ограничения на ресурс

Молниестойкость



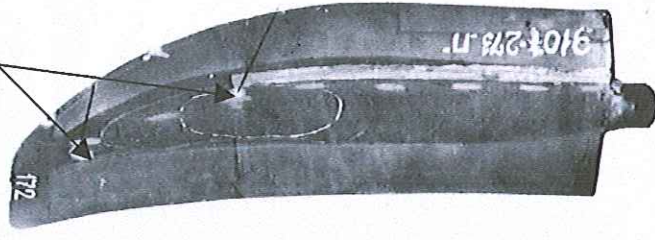
Стойкость к повреждениям

предметами аэродромной

засоренности

Повреждения

бетоном и гранитом
массой 7 гр



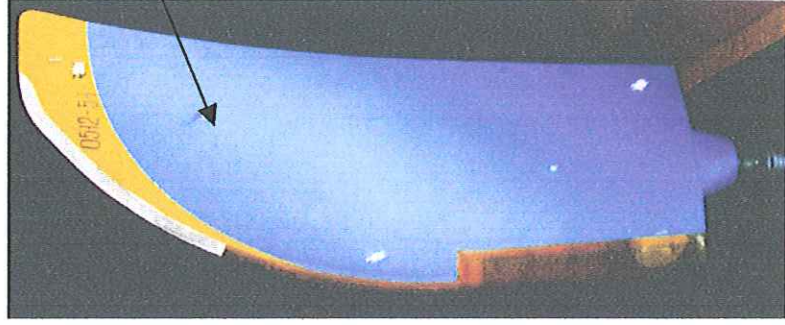
Стойкость к повреждениям

боевыми средствами

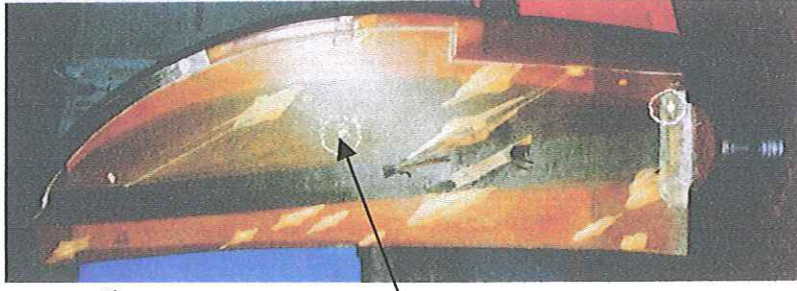
поражения

Повреждения

осколками ракет
массой 3 гр; 6 оск/м²



Повреждения
осколочно-
фугасным
снарядом



Выдерживает 3-х кражное
воздействие разряда
молнии за 1 полет
(ремонтпригодность в
заводских условиях)

- Обеспечивается завершение планового полета
- Лопать ремонтпригодна в заводских условиях

Лопати после заводского ремонта имеют усталостные
характеристики на уровне новых лопатей

- Завершение полетного задания не гарантировано
- Лопать неремонтпригодна

Рис.27

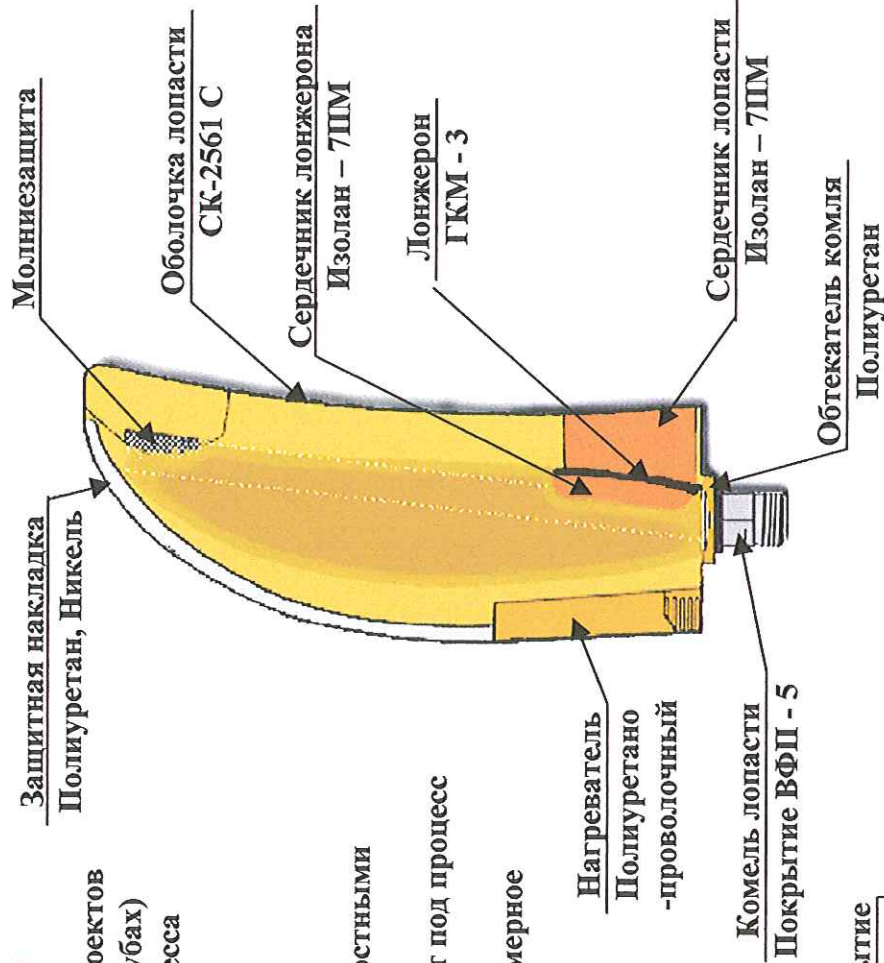
Реализация разработок и исследований в конструкции композитной лопасти

Исследовано

- 45 аэродинамических проектов (в аэродинамических трубах)
- 4 технологических процесса
- 68 марок материалов

Разработано

- ШКМ с высокими усталостными характеристиками
- Вибростойкий пенопласт под процесс машинной заливки
- Фреттингостойкое полимерное покрытие комля.



Испытано

- > 700 лопастей
- > 450 на динамическую прочность ($T > 200 * 103$ стенодочасов)
- > 140 образцов заделок

Эффективность лопастей из ШКМ (по сравнению с алюминиевым сплавом)

- Снижение массы в 2,5-3 раза ($\rho < 1 \text{ г/см}^3$)
- Снижение нагрузок в 2-3 раза
- Увеличение $\sigma_{-1} > 2$ -х раз
- Увеличение ресурса в 3-5 раз.
- Ремонтопригодность в эксплуатации
- Взаимозаменяемость

Противоэрозионное покрытие ЛКП ЭП-5236, Полиуретан

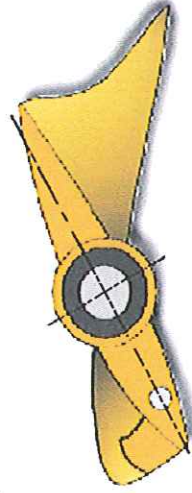












Рис.28

Созданный ряд лопастей



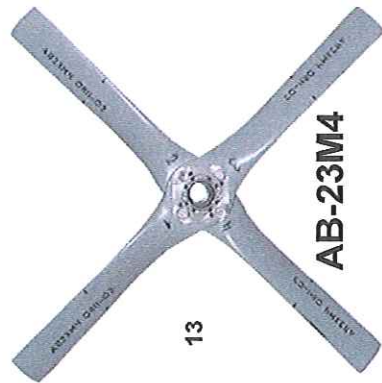
«Аэросила»
 Научно-производственное
 предприятие

- | | | |
|----|---|--|
| 1 |  | AV-81
Dв = 2,4 м
К=2
N = 360 л.с.
(ЯК - 50) |
| 2 |  | AV-36.02
Dв = 2,65 м
К=6
N = 1300 л.с.
(АН - 38) |
| 3 |  | CB-34
Dв = 3,6 м
К = 6
N = 2500 л.с.
(ИЛ - 114) |
| 4 |  | ЛБВ - 1
Dв = 3,72 м
К = 6
N = 2500-2800 л.с.
(АН - 140) |
| 5 |  | ЛБВ - 2
Dв = 3,9 м
К = 5
N = 3000-3500 л.с.
(Ил-112В) |
| 6 |  | CB-36
Dв = 4,2 м
К = 8+6
N = 10000 л.с.
(АН - 70, вар. 1) |
| 7 |  | CB-36M
эксперим.
эксперим. |
| 8 |  | CB-27M
эксперим.
Dв = 4,5 м
К = 8+6
N = 14000 л.с.
(АН - 70) |
| 9 |  | CB-27
Dв = 2,88 м
К = 10 + 8
N = 30000 л.с.
(Ту-330, Ил-96,
Ту-214) |
| 10 |  | CB-92
Dв = 2,88 м
К = 10 + 8
N = 30000 л.с.
(Ту-330, Ил-96,
Ту-214) |



AV-101

Dв=1,2 м
 N=14-22 л.с.
 (Параллан)



AV-23M4

Dв=0,606 м
 N=32 л.с.
 (ДПЛА «Пчела»)



AV-31

Моноблок
 Dв=1,5 м
 N=60 л.с.
 (Дельтаплан)

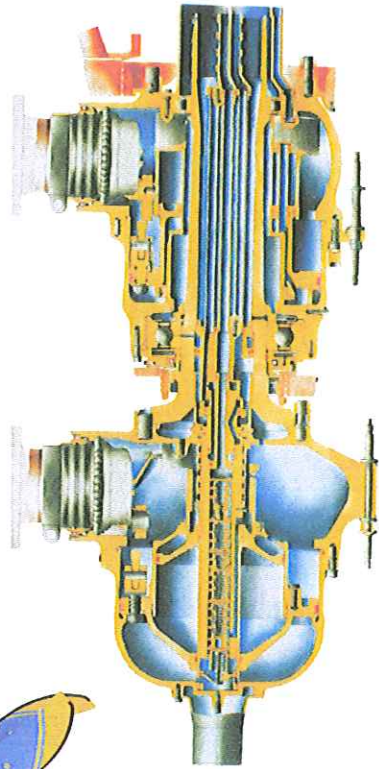
Рис.29

Эффективность винтовентиляторов с лопастями из ПКМ



СВ-27

Открытый, соосный, флюгерно-реверсивный



СВ-92

Закапотированный, соосный, флюгерно-реверсивный

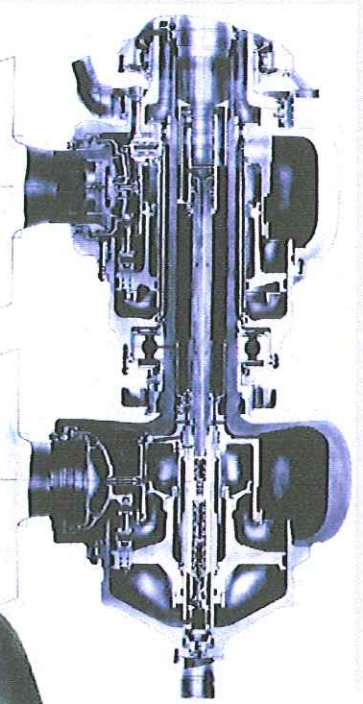


Рис.30

Изделие объект	Дв (м), Клоп (шт.)	Рвзл (кг) Нвзл (л.с.)	Нвзл Дв ²	Свв (кг)	Свв Нвзл	η на V _{крейс.}	Наличие реверса. Диапазон φ (град)	Ресурсы (час)	
								До 1 КР	НР
<u>СВ-92</u> <u>НК-93</u>	2,9 8+10	$\frac{18000}{25000} = 0,72$	3567	1000	0,04	0,9 (адиаб) на 0,8Мп	Реверсивн 120	5000 <i>проектный</i>	15000 <i>проектный</i>
<u>СВ-27</u> <u>АН-70</u>	4,5 8+6	$\frac{12800}{13400} = 0,9$	691	1100	0,082	0,89 на 0,7Мп	Реверсивн 101	6500 <i>проектный</i>	20000 <i>проектный</i>
<u>АВ-60К</u> <u>Ту-95</u>	5,6 4+4	$\frac{9600}{13600} = 0,7$	384	1190	0,087	0,9 на 0,65 Мп	Нереверс. 83	2000 <i>фактич.</i>	2000 <i>фактич.</i>
<u>АВ-90</u> <u>АН-22</u>	6,2 4+4	$\frac{14700}{13600} = 1,08$	364	1600	0,117	0,84 на 0,55Мп	Нереверс 83	1000 <i>фактич.</i>	2000 <i>фактич.</i>