

«Утверждаю»  
Главный инженер ММПП «САЛЮТ»  
*Поклад В.А.*  
«15» 07 2003 г.



## ОТЗЫВ

### о возможностях новых автоматизированных лазерных компьютерных систем «ОПТЭЛ» для контроля геометрических размеров заготовок и лопаток ГТД

1. На ММПП «САЛЮТ» производятся лопатки ГТД десятков... сотен типоразмеров, разнообразные по конструкции, базам и др. Причем лопатки новых ГТД имеют допуски по геометрии пера менее 0,06 ... 0,04 мм. Эти лопатки требуется контролировать с погрешностью менее 0,02... 0,01 мм. Поэтому существующие визуальные контактные приборы ПОМКЛ, имеющие паспортную погрешность более 0,05 мм, не пригодны для этого.

Западные координатно-измерительные машины (КИМ) ЦИ УТК ММПП «САЛЮТ» хоть и имеют паспортную погрешность менее 0,01 мм, но не обеспечивают необходимой производительности измерений.

Поэтому в соответствии с договором № 3-00/4673-66 от 1.08.2000 г. перед ООО НВП «ОПТЭЛ» УГАТУ (г. Уфа), как разработчиком и производителем оптоэлектронных средств контроля, была поставлена задача поставки на ММПП «САЛЮТ» отечественных систем, отвечающих требованиям современного авиадвигательного производства.

1. В рамках совместных работ по внедрению бесконтактных лазерных систем неразрушающего контроля «ОПТЭЛ» в соответствии с договором № 3-00/4673-66 от 1.08.2000 г. и доп. Соглашения № 1 поставлены, смонтированы и отлажены всего 9 систем «ОПТЭЛ» в цехах: 23 (3 комплекта), 3 (2 комплекта), 41 (1 комплект), 38 (2 комплекта) и 9 (1 комплект).

В цехе 23 начата эксплуатация:

- а) системы «ОПТЭЛ-ЭКЛ» (с длиной зоны измерений до 200 мм) в БТК
- б) двух систем «ОПТЭЛ-КЛ400» (с длиной зоны измерений до 450 мм) на участке лазерного контроля лопаток, расположенных на участке ЧПУ Цинциннати.

2. Системы ОПТЭЛ с программным обеспечением ORTEL-3D позволяют проводить высокопроизводительные автоматические точные комплексные измерения геометрии изделий сложной формы - лопаток по всем 350...400 точкам чертежа (мат. модели) лопаток АИ-222 и др. лопаток новых ГТД, которые начинают производиться на ММПП «САЛЮТ».

Системы «ОПТЭЛ», в отличие от КИМ, имеющихся на ЦИ УТК ММПП «САЛЮТ», кроме профиля пера также обеспечивают контроль параметров лопаток, задаваемых таблицей на профиль пера:  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_{max}$  (при этом дополнительно вычисляются координаты центра  $C_{max}$ ), длина и угол хорды, параметры  $b_1$  и  $b_2$ , радиусы входных и выходных кромок (при этом дополнительно вычисляются координаты центров кромок).

При этом на комплексные измерения геометрии крупногабаритной лопатки 016 и др. вместе с вышеуказанными автоматическими расчетами отклонений и параметров сечений требуется небольшое время - 2,5... 4 минуты, что многократно меньше чем на КИМ и др. средствами.

Для сравнения - на ручные измерения только параметров сечений лопатки  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_{max}$  в БТК затрачивается до 20 минут.

3. Системы снабжены программным обеспечением (ПО) ORTEL-3D версии 8. ПО обеспечивает:

- 3.1. Введение чертежных размеров изделий в виде файла или с помощью клавиатуры.
- 3.2. Вывод результатов измерений геометрических параметров в текстовом, табличном и графическом видах на экран дисплея, в виде файла и на бумаге в виде графиков, таблиц, протоколов, статистических данных и т.п.
- 3.3. Сравнение фактических размеров с заданными в чертежах, таблицах с определением и фиксированием отклонений;
- 3.4. Создание трехмерной профилограммы измеряемых изделий по заданным сечениям.

*(10.20.003) 28.05.03г. В.А. Аладимский*

3.5. Цветные отображения и печать профилограмм (с рассчитанными параметрами) с различным масштабом - до 10000:1 раз.

3.6. Автоматическое базирование к координатным осям изделий и в зависимости от конкретного исполнения оно осуществляется как по базирующим элементам приспособлений, так и по базовым поверхностям изделия, а также по эталонным точкам или сечениям фактического профиля.

3.7. ПО обеспечивает создание базы данных результатов измерений с автоматическим сохранением в памяти компьютера, выдавать результаты в формате, совместимым с CAD/CAM, а также проводить обмен данными по компьютерной сети. *в формах ДБХ.*

4. В БТК цеха 23 смонтирована автоматизированная бесконтактная компьютерная система ОПТЭЛ-ЭКЛ для измерений геометрии лопаток ГТД Д. и др., которые будут обрабатываться на новом станке Ви-ЭХО. *29.05.03*

5. В связи с возникшей потребностью измерения новых компрессорных лопаток 1, 2 и 3 ступени АИ222 была поставлена задача по измерениям этих лопаток на системе «ОПТЭЛ-ЭКЛ».

Составлены программы измерений лопаток

и др. Лопатки устанавливаются в штатный узел крепления высокоточного автоматизированного поворотного стола системы «ОПТЭЛ-ЭКЛ».

Точность и стабильность измерений контрольных чертежных точек пера достаточная (менее  $\pm 0,01 \dots 0,015$  мм), что приемлемо с учетом допуска по отклонения профиля -  $0,12 \dots 0,16$  мм.

6. На новых системах «ОПТЭЛ-КЛ400» (с длиной зоны измерений до 450 мм) участка лазерного контроля лопаток (участок ЧПУ Цинциннати) осваивается комплексный контроль крупногабаритных заготовок и лопаток закрылки, средних лопаток, КНД ВУ др. и начато практическое использование этих измерений в процессе производства.

## II. Возможности программного обеспечения (ПО) OPTTEL-3D систем «ОПТЭЛ» по расчету фактических отклонений параметров профиля лопаток ГТД от номинала и его оптимизации.

Режим оптимизации (припасовки - best fitting) ПО OPTTEL-3D версии 8 систем «ОПТЭЛ» необходим для расчета отклонений фактического профиля сечения пера лопаток ГТД от мат-модели и их минимизации.

Фактический реальный профиль сечения пера отличается от мат-модели по следующим параметрам:

- имеет смещение по оси координат Y
- имеет смещение по оси координат X
- имеет смещение по оси координат X и Y
- имеет угол разворота относительно координат X и Y
- имеет отклонения формы фактического профиля сечения пера от точек мат-модели.

ПО OPTTEL-3D позволяет определять все вышеуказанные виды отклонений фактического профиля сечения пера от мат-модели.

Режим оптимизации «по сечениям»: расчет отклонения фактического профиля сечения пера производится для каждого отдельного сечения независимо от других.

Этот режим нужен для оценки профиля пера с учетом чертежных допусков по смещениям по оси координат X, Y, углу разворота и дает максимальный процент годных точек пера.

Режим оптимизации (припасовки) «как твердое тело»: расчет отклонения фактического профиля сечения пера производится одновременно для всех отдельных сечений, расположенных между 2-мя заданными сечениями (обычно крайними).

Этот режим нужен для коррекции баз, чтобы получить профиль пера максимально приближенный к мат-модели.

### III. ВЫВОДЫ.

1. Системы "ОПТЭЛ" являются современным измерительным компьютерным оборудованием нового поколения и не имеют прямого аналога. Они работают в автоматическом режиме в цеховых условиях, имеют высокую производительность, компьютерное управление и базу данных, являются современным контрольно-измерительным оборудованием с развитым программным обеспечением на русском языке, отвечающем современным требованиям отечественного авиадвигательного производства.

Системы «ОПТЭЛ» повышают объективность, комплексность и точность контроля при одновременном повышении производительности контрольных операций, создании компьютерной базы данных результатов измерений и оперативной обратной связи в новых технологиях с использованием CAD/CAM.

2. Количество параметров, контролируемых системами ОПТЭЛ по сравнению с существующими средствами контроля (КИМ, приборами ПОМКЛ и др.), значительно больше, ~~и~~ при меньшей погрешности измерений и соответствует ~~всем современным~~ *сертификат* требованиям. *ВАЗ 29.05.09г.*

3. Системы "ОПТЭЛ", в отличие от КИМ, имеющихся на ЦИ УТК ММП «САЛЮТ», позволяют контролировать геометрические размеры не только профиля пера, но и таких очень важных параметров профиля пера:

а)  $C_1, C_2, C_{max}$  (при этом дополнительно вычисляются координаты центра  $C_{max}$ )

б) длина и угол хорды

в) параметры  $b_1$  и  $b_2$

г) радиусы входных и выходных кромок (при этом дополнительно вычисляются координаты центров кромок);

д) развитые возможности расчета отклонений фактического профиля пера от мат. модели с режимом оптимизации (припасовки - best fitting):

- смещение по осям координат X и Y;

- угол разворота, и др., *а также углов входа сечения лопаток и установки*

- радиусов входных и выходных кромок, приведенные в соответствии с существующим *ВНА* шаблонным контролем, при этом дополнительно вычисляются координаты центров кромок. *РК*

Вышеуказанные гибкие режимы оптимизации и расчета отклонений фактического *ВНА* профиля сечения пера дают объективную оценку геометрии реальных лопаток и позволяют *29.05.09г.* значительно повысить процент годных точек пера.

4. Производительность контроля лопаток системами "ОПТЭЛ", в несколько раз выше, чем КИМ, имеющихся на ЦИ УТК ММП «САЛЮТ», а погрешность измерений реально существующих лопаток на системе ОПТЭЛ оказывается в несколько раз меньше чем у контактных КИМ.

5. Стоимость систем "ОПТЭЛ" сопоставима со стоимостью приборов ПОМКЛ и в несколько раз меньше, чем КИМ.

6. Следует особо отметить, что комплексные измерения геометрии крупногабаритной лопатки 016 и др. вместе с автоматическими расчетами отклонений по 350...400 точкам мат. модели и параметров  $C_1, C_2, C_{max}$ , длины и угла хорды,  $b_1$  и  $b_2$ , смещения по осям координат X и Y, углов разворота и др. занимает всего лишь 2,5... 4 минуты.

7. Графические и текстовые протоколы новых систем «ОПТЭЛ» содержат более полную и развернутую наглядную информацию и в любых востребованных отечественными производителями видах по сравнению с КИМ, имеющимися у ЦИ УТК ММП «САЛЮТ».

Пользователю системы "ОПТЭЛ" выдаются 6 видов наглядных и удобных текстовых протоколов на русском языке, а также отображаются на мониторе более десятка видов графических протоколов, включая оригинальный фотопротокол, с выдачей на бумаге цветных копий.

8. Также следует особо отметить, что только на системах ОПТЭЛ может проводиться неразрушающий контроль профиля и радиусов входных и выходных кромок лопаток. На современных лопатках радиусы входных и выходных кромок составляют до  $70,10 \pm 0,03$  мм.

9. В дальнейшем в системах «ОПТЭЛ» перспективно и имеется необходимость реализовать новую актуальную возможность и задачу - освоить измерения антивибрационных (бандажных) полок и радиусов сопряжений:

- а) радиусов сопряжений пера и хвостовика
- б) радиусов сопряжений пера и антивибрационных полок
- в) параметров положения антивибрационных полок в системе координат лопаток
- г) параметров геометрии и положения опорных площадок антивибрационных полок в системе координат лопаток
- д) расчет и вывод в протокол отклонений фактических смещений по оси координат X и Y относительно смещений заданного базового сечения (базы).

10. Системы «ОПТЭЛ» прошли метрологическую аттестацию и поверку в Госстандарте России. Имеется соответствующие Сертификат и Свидетельства о поверке.

Разработан и утвержден в Госстандарте России тип новых систем лазерных автоматизированных трехмерных измерений геометрии изделий сложной формы «ОПТЭЛ» и методика метрологической поверки систем «ОПТЭЛ» (Сертификат Госстандарта России RU.C.27.001/A N 12564 сроком действия до 1.06.2007 г., ксерокопия которого прилагается).

Имеются официальные документы от Ростандарта сроком действия до 25.02.2004 г.:

- сертификаты о калибровке N 2610-11-29/2003 и N 2610-11-30/2003 (системы "ОПТЭЛ-КЛ400")
- свидетельство о поверке N 2610-11-33/2003 (система "ОПТЭЛ-ЭКЛ").

При поверке систем «ОПТЭЛ» получены суммарные погрешности:

- по координатам X и Y менее 0,003 мм.
- по координатам Z менее 0,01 мм.

11. Системы прошли технологический прогон и предварительные приемо-сдаточные испытания в производстве Заказчика.

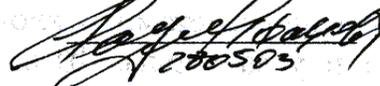
Системы "ОПТЭЛ" ввести в опытно-промышленную эксплуатацию в цехах ММП «САЛЮТ» для контроля геометрических размеров лопаток ГТД.

12. Имеется необходимость в подключении компьютерной сети и телефона на участке ЧПУ Цинциннати и подведении компьютерной сети в БТК цеха 23 для обеспечения оперативной передаче службам протоколов измерений.

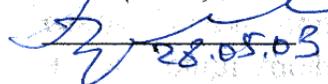
13. Применение систем "ОПТЭЛ" перспективно в производстве ГТД на ММП «САЛЮТ».

Внедрение систем "ОПТЭЛ" исключает перебраковку и упрощает доводку профиля лопаток, существенно сокращает затраты и время освоения новых ГТД, так как исключаются затраты и время на проектирование, изготовление и эксплуатацию устаревших контактных средств контроля, в том числе для контроля геометрии бандажных полок.

1 Нач. отдела ОГК-1 ММП «САЛЮТ»

 Д. А. Бронштейн

Нач. ЦНТЛ, к.т.н.,

 Горелов В. А.

Нач. бюро ОГК-1

 Аладинский В. Л.

Нач. техбюро цеха № 23

 Попов А. А.