



УДК 535.318

О.В. Печинская

Московский энергетический институт (технический университет), Россия,
111250, Москва, Красноказарменная ул., 14, E-mail: olkaown@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ КАРТИН, ПОЛУЧЕННЫХ С АДАПТЕРОМ ШАЙМПФЛЮГА

АННОТАЦИЯ

В работе описаны трудности получения высококачественных изображений для PIV, IPST и других оптических методов исследования потоков в условиях натурных испытаний. Рассмотрена возможность использования адаптера Шаймпфлюга для повышения качества изображений, получаемых во время тестовых полётов. Представлены результаты экспериментальных исследований пространственного разрешения изображений тестового экрана, полученных с помощью оптической системы оснащённой адаптером Шаймпфлюга. В работе обозначены направления дальнейших исследований.

АДАПТЕР ШАЙМПФЛЮГА, ЛЁТНЫЕ ИСПЫТАНИЯ, МЕТОД КОРРЕЛЯЦИИ
ФОНОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПРИНЦИП ШАЙМПФЛЮГА, ПРОСТРАНСТВЕННОЕ
РАЗРЕШЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время активно развивается применение оптических методов в лётных испытаниях. В проекте АИМ были разработаны либо усовершенствованы для лётных испытаний различные оптические методы, такие как PIV, IPST и др., например, для измерений деформации крыла и винта воздушного судна, исследования потоков [1].

Применение метода корреляции фоновых изображений (IPST-метода) в лётных испытаниях может повысить точность измерений; сократить время установки и наладки оборудования по сравнению с традиционными методами (например, фотограмметрией); обеспечить измерения деформаций интересующих локальных зон.

Испытания на самолётах Fairchild Metro II, Piaggio P180 [2] показали целесообразность применения IPST-метода в лётных испытаниях. Последующие испытания на самолётах Evektor EV-55, VUT100-13li Cobra [3], Airbus A380 [4] выявили ряд трудностей для осуществления измерений IPST-методом. Одна из них – невозможность получения одинаково качественных картин по всей исследуемой поверхности крыла. Поскольку возможности размещения регистрирующей аппаратуры на борту ограничены геометрией воздушного судна (в кабине либо на фюзеляже), возникают такие нежелательные условия наблюдения, как плоский угол обзора в сочетании с большой протяжённостью исследуемой поверхности. Всё это приводит к снижению пространственного разрешения записанных изображений с увеличением расстояния от камеры до точки обзора.

В рамках создания систем коррекции изображения основное внимание, как правило, направлено на создание и развитие программных способов коррекции полученного изображения (пост-детекторная обработка). Однако корректировке поддаются не все типы искажения информации. В ряде случаев информации просто не хватает, тогда корректировка

должна выполняться аппаратно – с помощью усовершенствованной системы регистрации изображений.

В данной работе рассмотрена возможность использования адаптера Шаймпфлюга для повышения качества изображений, получаемых во время тестовых полётов.

ПРИНЦИП ШАЙМПФЛЮГА

Согласно принципу Шаймпфлюга, в случае наклонно расположенного предмета: изображение плоскости само плоскость; плоскости наклонны друг к другу, следовательно, пересекаются; можно найти такое положение оптической системы, при котором все три плоскости (предмета, оптической системы и изображения) пересекаются на одной линии и тогда изображение плоского наклонного предмета будет полностью резким.

Известны два типичных случая реализации принципа Шаймпфлюга. Первый: фокусировка и наводка на резкость осуществляются наклоном оптической системы (рис. 3, а). Плоскости предмета и изображения пересекаются; образуя линию, через которую также проходит плоскость, наклонная к оптической оси системы, параллельно этой плоскости необходимо расположить оптическую систему, таким образом, чтобы изображение было полностью резким.

Второй: получение резкого изображения осуществляется за счёт наклона плоскости приёмника (рис. 3, б). Некая плоскость, характеризующая оптическую систему, и плоскость предмета пересекаются, образуя линию, через которую также проходит плоскость, содержащая изображение, резко отображаемое на всём своём протяжении.

Таким образом, принцип Шаймпфлюга описывает положение фокальной плоскости оптической системы, в которой плоскость объектива не параллельна плоскости приёмника.

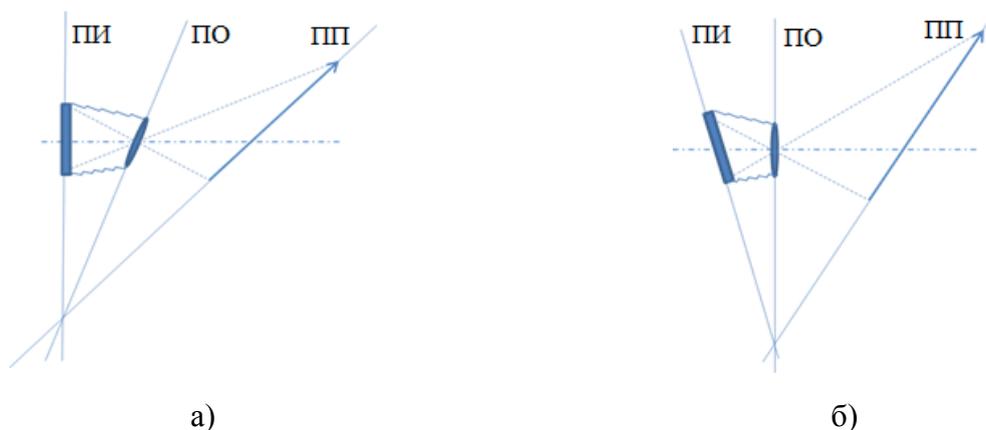


Рис. 1. Схемы реализации принципа Шаймпфлюга на практике:

а) наклоном плоскости объектива; б) наклоном плоскости приёмника.

На рисунке обозначены: ПП – плоскость предмета, ПО – плоскость объектива, ПИ – плоскость изображения

СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТА

Для оценки зависимости пространственного разрешения изображения (в двух взаимно перпендикулярных плоскостях) от угла наклона предмета и различных положений адаптера Шаймпфлюга была проведена серия экспериментов. По каждой отснятой картине определено максимальное разрешение для двух взаимно ортогональных направлений. На снимках, полученных при максимальном отклонении адаптера 20° , особенно хорошо видно, что разрешение картины неравномерно по полю зрения и резко ухудшается к краям поля зрения в горизонтальном направлении, тогда как в вертикальном остаётся практически постоянным по полю. По графикам, характеризующим зависимость разрешения от угла наклона экрана, можно определить основные закономерности изменения разрешения

в случае, когда плоскость предмета, объектива и фоточувствительной площадки не параллельны друг другу.

В качестве тестового изображения в эксперименте была использована тестовая таблица для определения разрешающей способности оптической системы. Параметры оптической системы: объектив Nikkor 24 мм 1:2,8; адаптер Шаймпфлюга LaVision с углом отклонения до 20° ; матричный приёмник UCМOS05100КРА на базе сенсора Aptina MT9P001 (размер пиксела $2,2 \times 2,2 \text{ мкм}^2$; разрешение 5,1 Мпикс; формат 1/2,5") с частотой кадров 5 к/с.

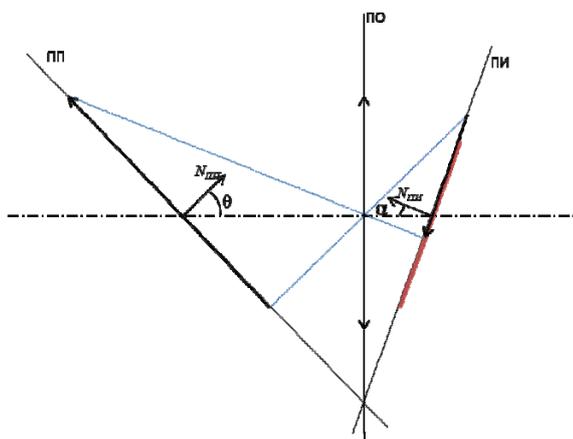


Рис. 2. Схема расположения плоскости предмета, оптической системы и плоскости изображения в эксперименте; θ – угол между нормалью к экрану и оптической осью, α – угол между нормалью к плоскости сенсора и оптической осью

Измерения проводились для различных положений экрана θ от 0° до 80° с шагом $\Delta\theta=10^\circ$. Расстояние от экрана до объектива вдоль оптической оси $l=1,5$ м. В данной установке плоскость сенсора наклонялась относительно оптической оси с помощью адаптера Шаймпфлюга в интервале углов α от 0° до 20° с шагом $\Delta\alpha=5^\circ$. Взаимное расположение плоскостей предмета и изображения показано на рисунке 2.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА

На рис. 3.1 – 3.3 в качестве примера показаны снимки для различных положений матрицы и тестового экрана. Полученные изображения позволяют оценить зависимость разрешающей способности оптической системы в двух взаимно перпендикулярных направлениях (вертикальном и горизонтальном) от угла разворота экрана и наклона плоскости приёмника.

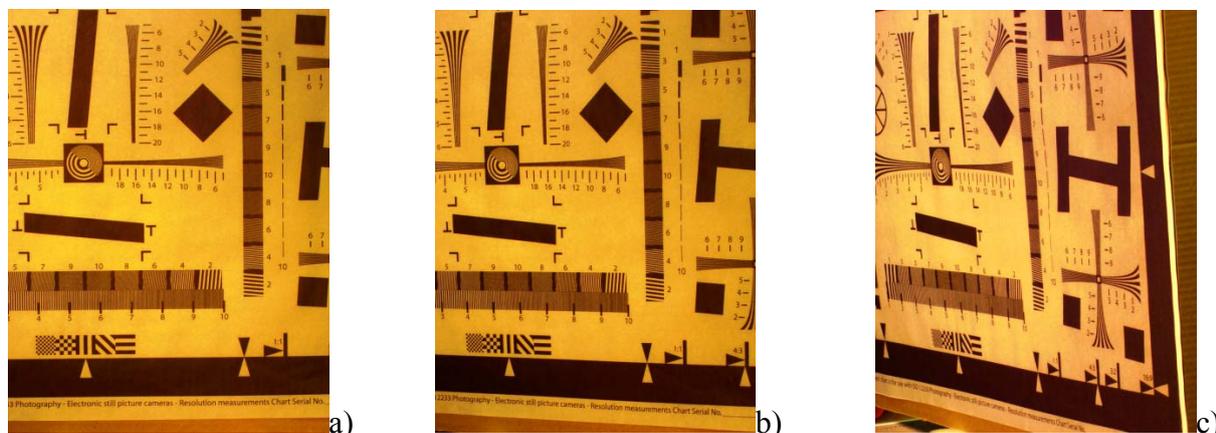


Рис. 3.1. Примеры изображений тест-таблицы, угол поворота матрицы 0°

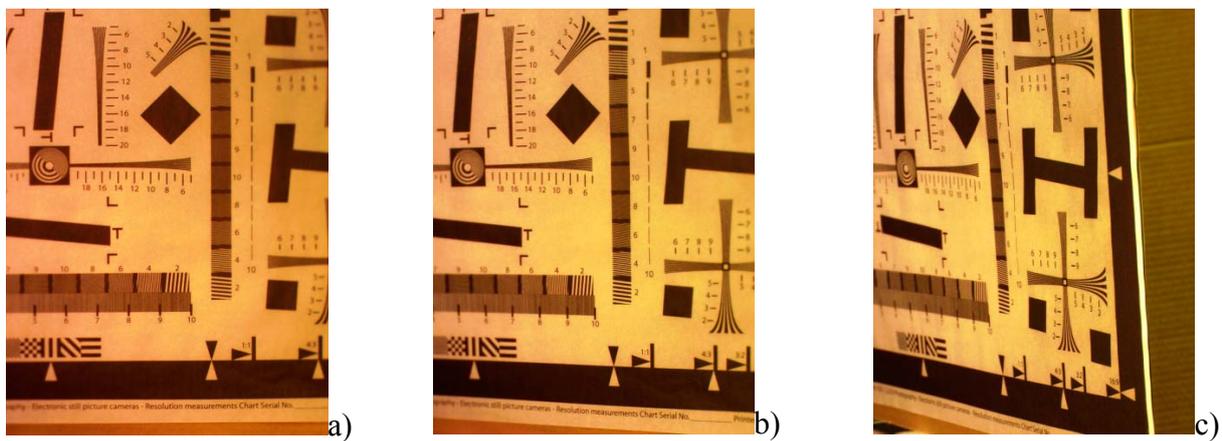


Рис. 3.2. Примеры изображений тест-таблицы, угол поворота матрицы 10°

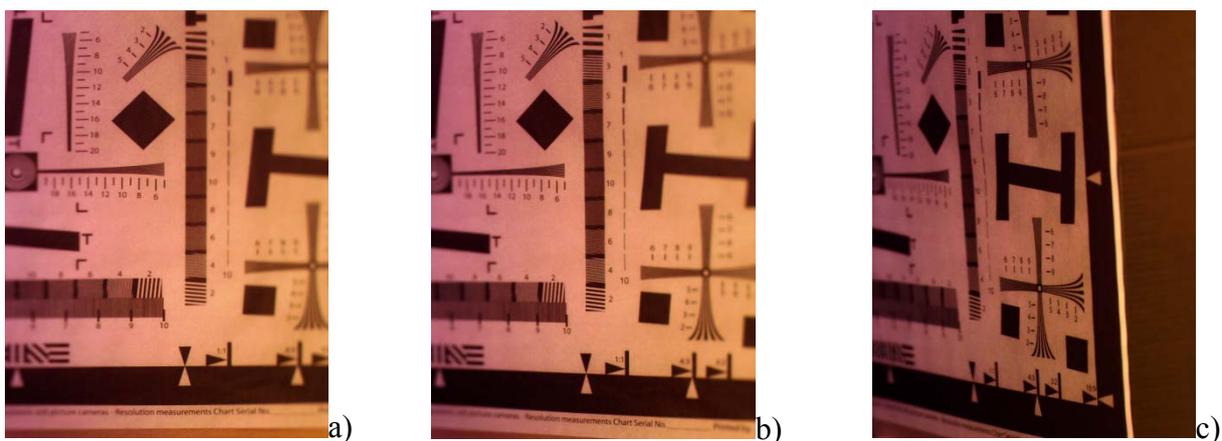
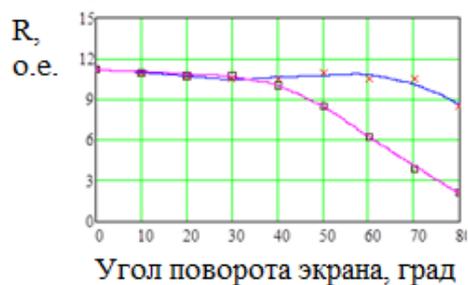


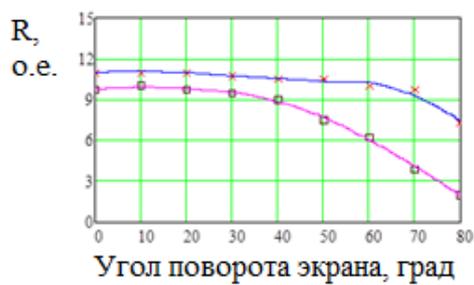
Рис. 3.3. Примеры изображений тест-таблицы, угол поворота матрицы 20°

- а) – экран расположен нормально к оптической оси;
- б) – экран развёрнут на угол 30° к оптической оси;
- в) – экран развёрнут на угол 60° к оптической оси

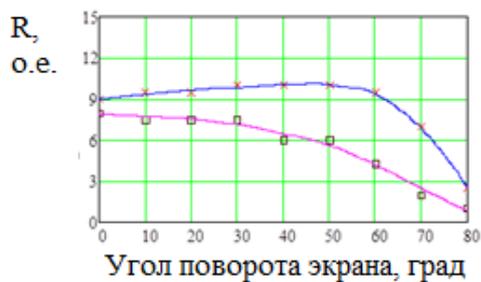
На рисунке 4 представлены графики зависимостей разрешающей способности по горизонтали и вертикали в зависимости от угла разворота экрана при различных углах поворота матрицы.



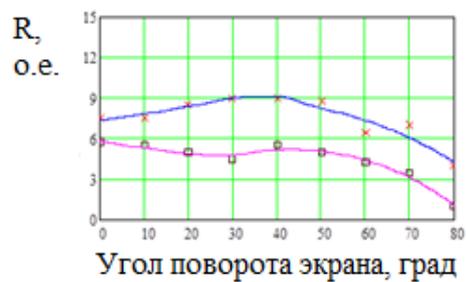
а) Угол наклона матрицы $\alpha=0^\circ$



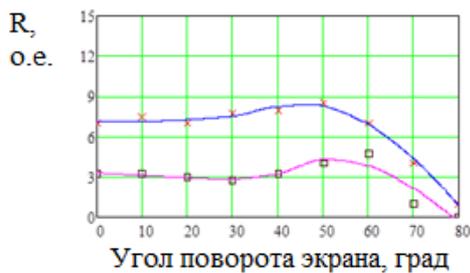
б) Угол наклона матрицы $\alpha=5^\circ$



в) Угол наклона матрицы $\alpha=10^\circ$



г) Угол наклона матрицы $\alpha=15^\circ$



е) Угол наклона матрицы $\alpha=20^\circ$

Рис. 4. Графики зависимости разрешения в относительных единицах от условий регистрации изображения. Верхняя кривая соответствует разрешению по горизонтали, нижняя – разрешению по вертикали

Максимальная разрешающая способность по горизонтали и вертикали достижима при условии одновременной параллельности трёх плоскостей (предмета, объектива и приёмника) и их перпендикулярности оптической оси. С увеличением угла наклона экрана, при нулевом положении матрицы, разрешающая способность снижается неодинаково для горизонтальной и вертикальной плоскостей. В плоскости, перпендикулярной оси вращения матрицы, разрешающая способность стремительно снижается, в то время как в ортогональной плоскости разрешающей способности ухудшается не так быстро.

Данная тенденция сохраняется и для наклонных положений матрицы. С увеличением угла α становится заметно, что максимум разрешающей способности достигается не в случае ортогонального к оптической оси положения экрана, а для углов порядка $40^\circ - 60^\circ$, но даже в максимуме разрешение не превышает $2/3$ величины, характерной для нормального положения предмета и элементов системы регистрации изображения.

Комфортным для работы представляется диапазон углов наклона плоскости предмета от 0° до 40° , т.к. в этом интервале зависимости разрешения в обеих плоскостях ведут себя равномерно, в то время для углов наклона экрана свыше 40° разрешение стабильно падает. Исключение составляет случай с максимально отклоненной матрицей (для $\alpha=20^\circ$ максимум разрешения в обоих направлениях приходится на $\theta = 50^\circ$). Однако в таком режиме освещенность картины падает и становится неравномерной (на рисунках 3.1 – 3.3 видно как с ростом угла наклона матрицы возрастает виньетирование), что негативно сказывается на качестве получаемых изображений в плане их дальнейшей обработки.

ВЫВОДЫ

Полученные практические результаты свидетельствуют о возможности применения адаптеров Шаймпфлюга в комплексах оптической и лазерной диагностики потоков для улучшения разрешающей способности систем регистрации изображений и, как следствие, повышения точности измерений.

В дальнейшем должны быть проведены более детальные исследования работы адаптера Шаймпфлюга в диапазоне углов наклона плоскости предмета от 0° до 40° . При этом угол наклона плоскости матрицы должен выбираться таким образом, чтобы обеспечить резкое изображение экрана на всём его протяжении. Кроме того, следует провести аналогичные исследования с наклоном объектива и положением матрицы фотоприёмника ортогонально оптической оси системы.

Некоторые неудобства, вызванные применением адаптера, представляется возможным решить. Например, изменение направления обзора и, следовательно, сдвига обзорной площадки при наклоне сенсора, когда часть исследуемого предмета может выходить за пределы поля зрения вследствие применения адаптера Шаймпфлюга. Эта проблема решается применением tilt&shift-адаптера, который позволяет не только отклонять,

но и сдвигать приемник либо объектив, тем самым можно вернуть центр обзорной площадки в центр поля зрения. Так же существует вероятность выхода наблюдаемого объекта из зоны резко изображаемого пространства во время натурных испытаний. Например, при изгибе крыла в полёте. Эту проблему можно решить автоматизацией системы регистрации изображений с применением обратной связи (подстройка угла наклона адаптера и подфокусировка объектива в зависимости от качества получаемого изображения).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Advanced in-flight** measurements techniques \ Eds.: Boden F., Lawson N., Jentink H., Kompenhans U. Research topics in aerospace. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013.
2. **Boden F., Krimse T., Stasicki B., Lanari C.** Advanced optical in-flight measurements on deformation of wing and propeller blades, SFTE (EC). Symposium manching, 22-24 sept 2008.
3. **Ruzicka P., Rydel J., Josefik M., Boden F.** Assessment of IPCT for wing deformation measurements on a small aircraft. Advanced in-flight measurements techniques, Research topics in aerospace. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013, p.73-92.
4. Boden F., Jentink H., Petit C. IPCT wing deformation measurements on a large transport aircraft. Advanced in-flight measurements techniques, Research topics in aerospace, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013, p. 93-115.

O.V. Pechinskaya

*Moscow Power Engineering Institute (technical university), Russia,
111250, Moscow, Krasnokazarmennaya st., 14, E-mail: olkaown@yandex.ru*

SPATIAL RESOLUTION INVESTIGATION FOR IMAGES CAPTURED WITH SCHIEMPFLUG ADAPTER

The difficulties of high-quality images capturing for PIV, IPCT and others optical methods of flow investigation during the in-flight tests are describes in the report. The possibility of using Schiempflug adapter for images captured during the flight tests quality increasing is seen. The experimental results of spatial resolution investigations for the images obtained by optical system Schiempflug adapter equipped are presented. In the report some ways of further investigations are given.

SCHIEMPFLUG ADAPTER, IN-FLIGHT TESTS, IMAGE PATTERN CORRELATION
TECHNIQUE, SCHIEMPFLUG PRINCIPLE, SPATIAL RESOLUTION