

УДК 621.74 : 681.3

П.Д. ЖЕМАНЮК<sup>1</sup>, Е.Р. ЛИПСКИЙ<sup>1</sup>, В.Ф. МОЗГОВОЙ<sup>1</sup>, К.Б. БАЛУШОК<sup>1</sup>,  
А.Я. КАЧАН<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ОАО "Мотор Сич", Запорожье, Украина

<sup>2</sup>Запорожский национальный технический университет, Запорожье, Украина

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ ЗАМКНУТОГО ЦИКЛА УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ЛОПАТОК ТУРБИН ГТД

В статье рассмотрен подход к управлению качеством лопаток ГТД, основанный на методе аналитических эталонов и реализованный на стадии технологической подготовки производства как серийных, так и опытных авиадвигателей.

**качество, автоматизированная подготовка производства, аналитический эталон, компьютерный анализ процессов литья**

### Общая постановка проблемы и ее связь с научно-техническими задачами

Аналитический эталон (АЭ) представляет собой объемную математическую модель детали, построенную на языке аналитической геометрии и несущую полную информацию о геометрии этой детали [1]. Суть метода аналитических эталонов (МАЭ) заключается в том, что основным носителем и источником информации о геометрии детали в машиностроительном производстве является ее аналитический эталон. При этом чертеж, создаваемый на основании АЭ, является юридическим документом, удостоверяющим передачу в производство детали, и, как правило, содержит только изображения внешнего вида детали (основные проекции и изометрию), а также информацию, отсутствующую в АЭ (технические требования, допуски, посадки, шероховатость и т.п.).

Использование АЭ, как принципиально нового вида конструкторской документации, требует разработки и внедрения новых подходов к обеспечению качества изделий в условиях современного компьютеризированного производства.

**Цель данной статьи.** Показать перспективные направления управления качеством заготовок лопаток турбин газотурбинных двигателей (ГТД), осно-

ванные на примени метода аналитических эталонов (МЭА).

### Результаты работ и исследований

В условиях компьютеризированного производства аналитический эталон сопровождает деталь на протяжении всего жизненного цикла. Применительно к объекту исследования, АЭ лопатки турбины появляясь на этапе НИОКР сопровождает деталь до этапа утилизации и выступает в роли основного элемента конструкторской документации. На этапе технологической подготовки производства АЭ лопатки, совместно с требованиями применяемых технологий литья и механической обработки, является основным источником геометрической информации для создания и управления качеством формообразующей технологической оснастки.

Аналитический эталон лопатки, разрабатываемый на этапе конструкторской подготовки производства, является основой для разработки АЭ отливки, который учитывает наличие припусков под механическую обработку и литейных усадок. По известной геометрии отливки разрабатываются аналитические эталоны модельной и стержневой прессформ, а также формы для заливки металлополимер-



градиентов температур;

ных дефектов;

— определение возможности появления литей-

— анализ микроструктуры отливки.

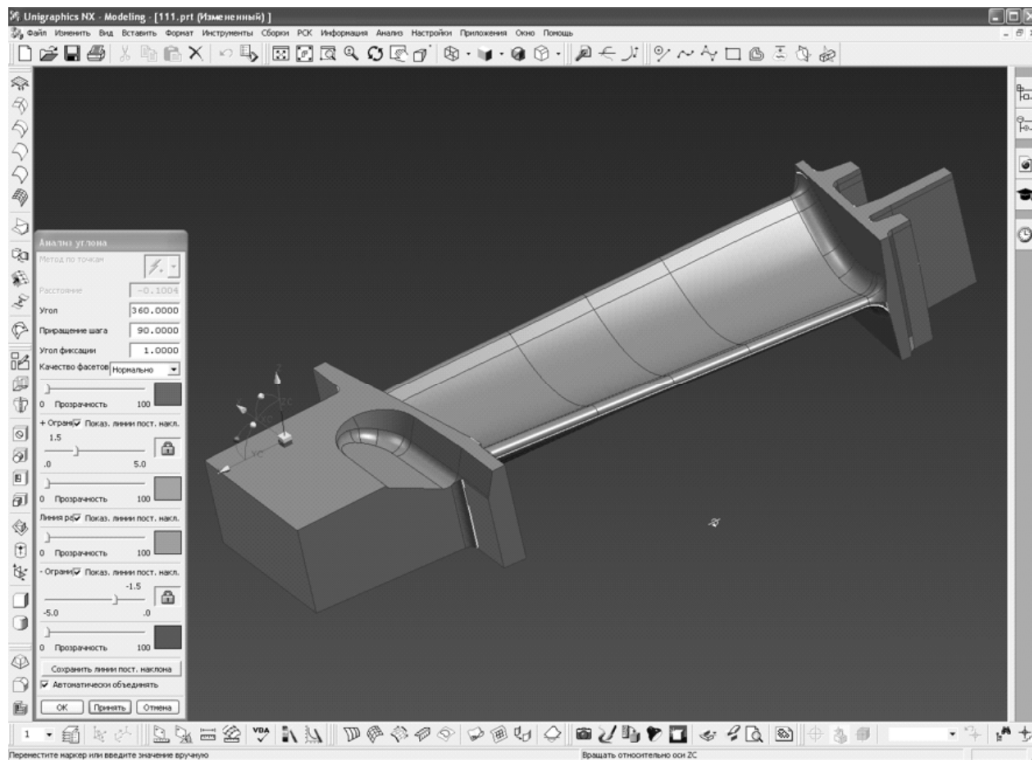
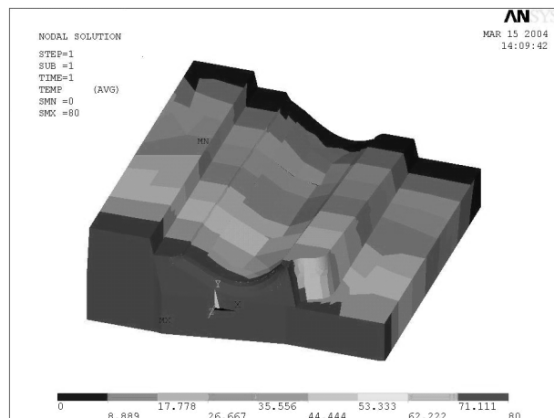
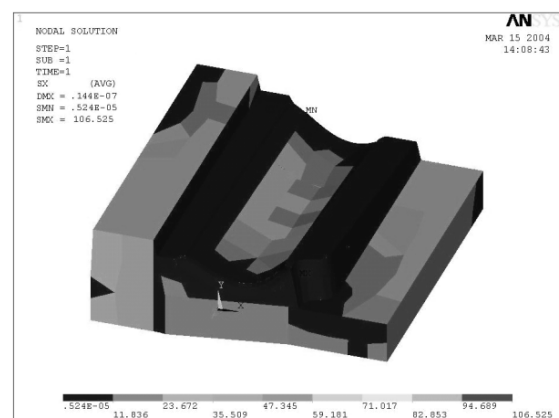


Рис. 2. Анализ геометрии аналитического эталона отливки лопатки турбины



а



б

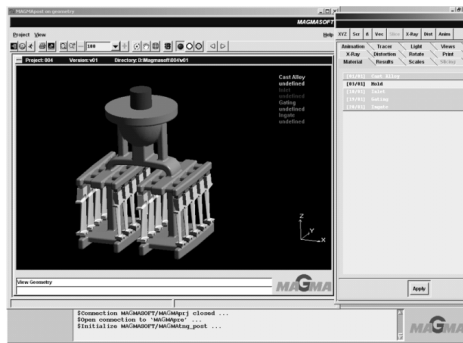
Рис. 3. Компьютерный анализ распределения температур и деформаций в детали модельной пресс-формы

В настоящее время наиболее мощным и совершенным инструментом решения подобных задач является система CAE MAGMA (рис. 4, 5).

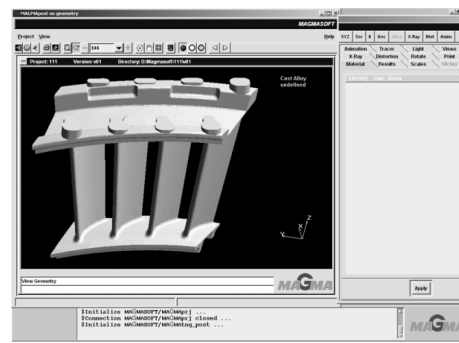
Изготовление формообразующей (прежде всего модельной) оснастки может выполняться как по традиционной технологии, основанной на применении оборудования с ЧПУ, так и на новых технологиях,

основанных на применении установок быстрого прототипирования.

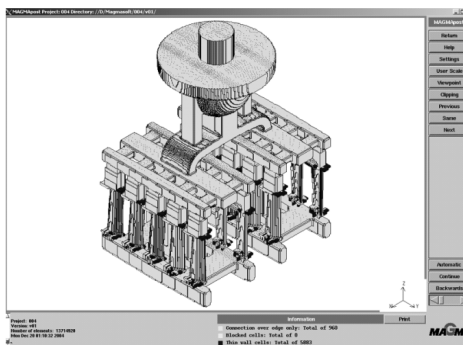
И в том и в другом случаях, замкнутый цикл управления качеством предполагает наличие контроля оснастки и изделия по аналитическому эталону на контактных и бесконтактных измерительных комплексах.



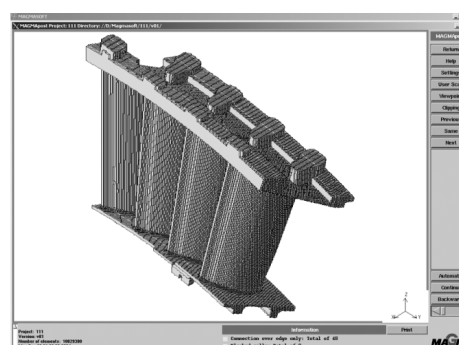
а



б

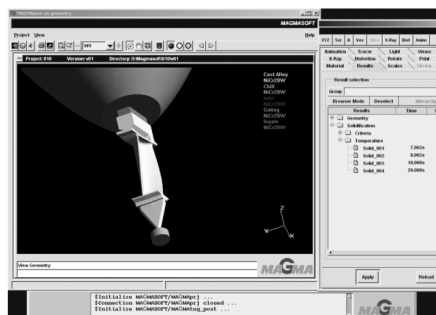


в

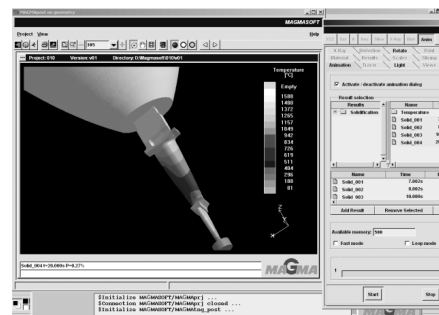


г

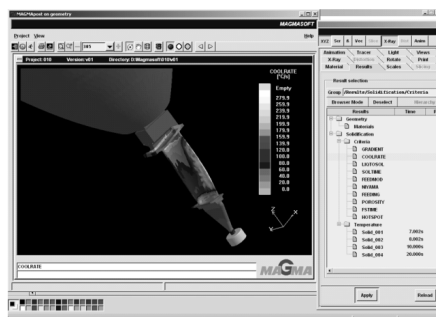
Рис. 4. Анализ литья заготовок лопаток турбин в системе MAGMA:  
а, б – аналитические эталоны блока отливок рабочих лопаток и сектора сопловых лопаток турбины  
в системе MAGMA; в, г – расчетные конечно-элементные сетки для анализа блока



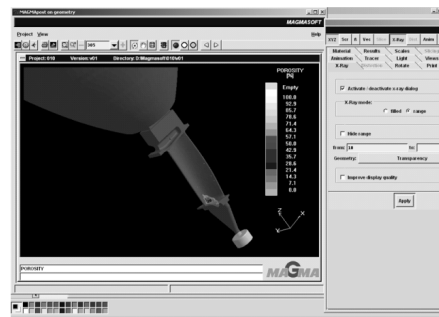
а



б



в



г

Рис. 5. Анализ процесса литья рабочей лопатки турбины  
методом высокоскоростной направленной кристаллизации:  
а – аналитический эталон отливки в системе MAGMA; б – анализ застывания отливки;  
в – анализ градиента температур отливки; г – анализ пористости отливки

Анализ отклонений геометрии оснастки и детали позволяет организовать обратные связи в цикле управления качеством, а его результаты могут быть использованы для коррекции АЭ и доработки, в случае необходимости, формообразующих поверх-

ностей технологической оснастки. Отклонения поверхностей отливки лопатки (рис. 6 – 8), изготовленной по существующей технологии литья по выплавляемым моделям, также могут быть определены и исследованы методом контроля по АЭ на КИМ.

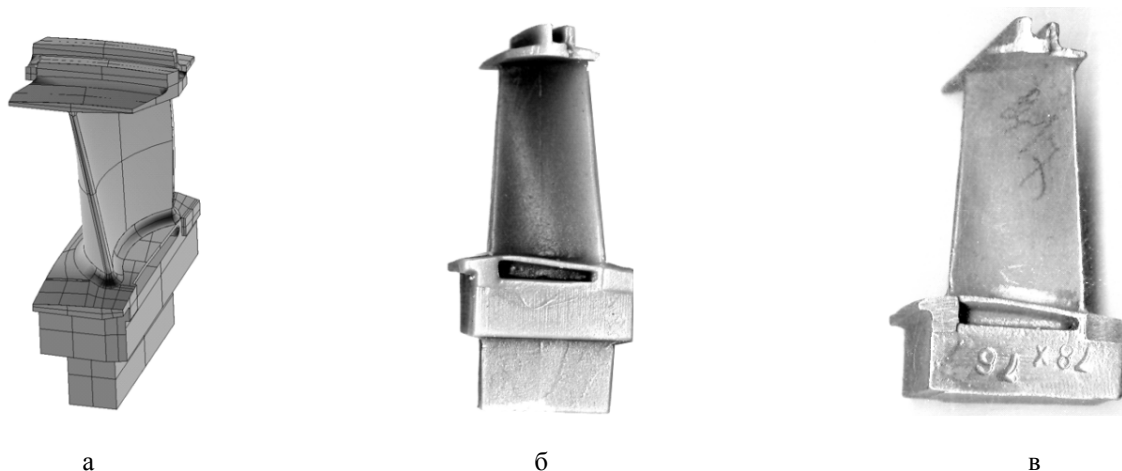


Рис. 6. Изображение аналитического эталона (а), восковая модель (б) и отливка (в) рабочей лопатки турбины

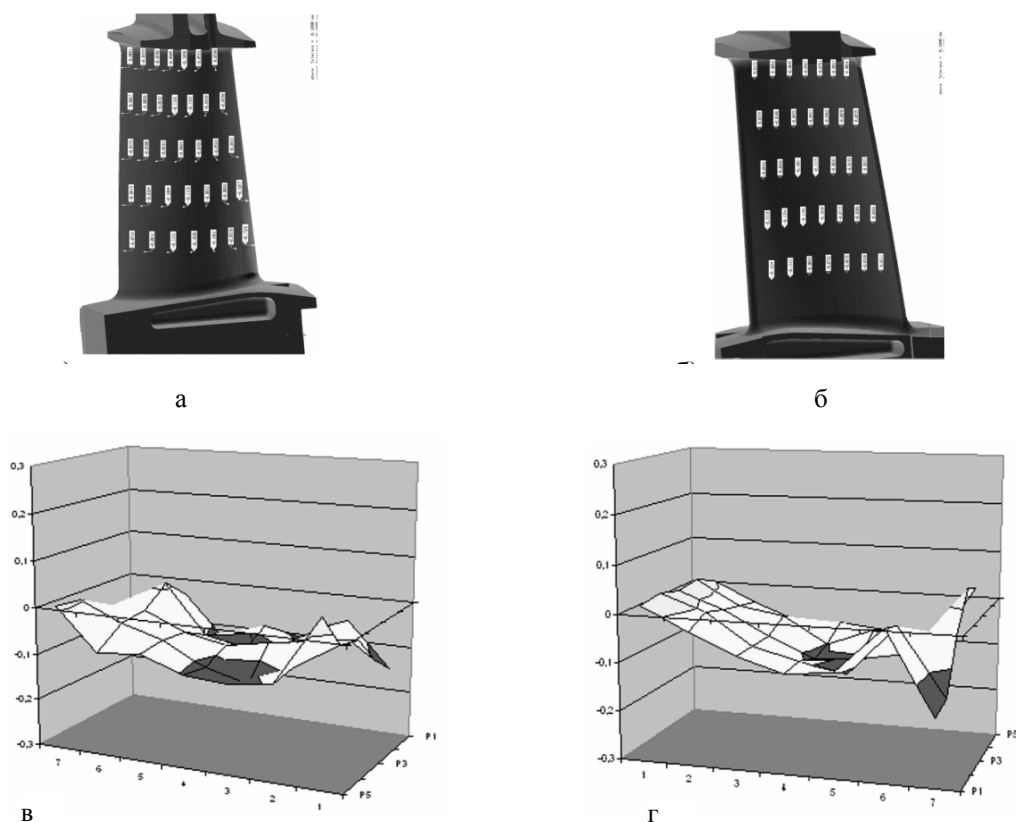


Рис. 7. Распределение отклонений поверхностей спинки (а, в) и корыта (б, г) отливки лопатки турбины от аналитического эталона

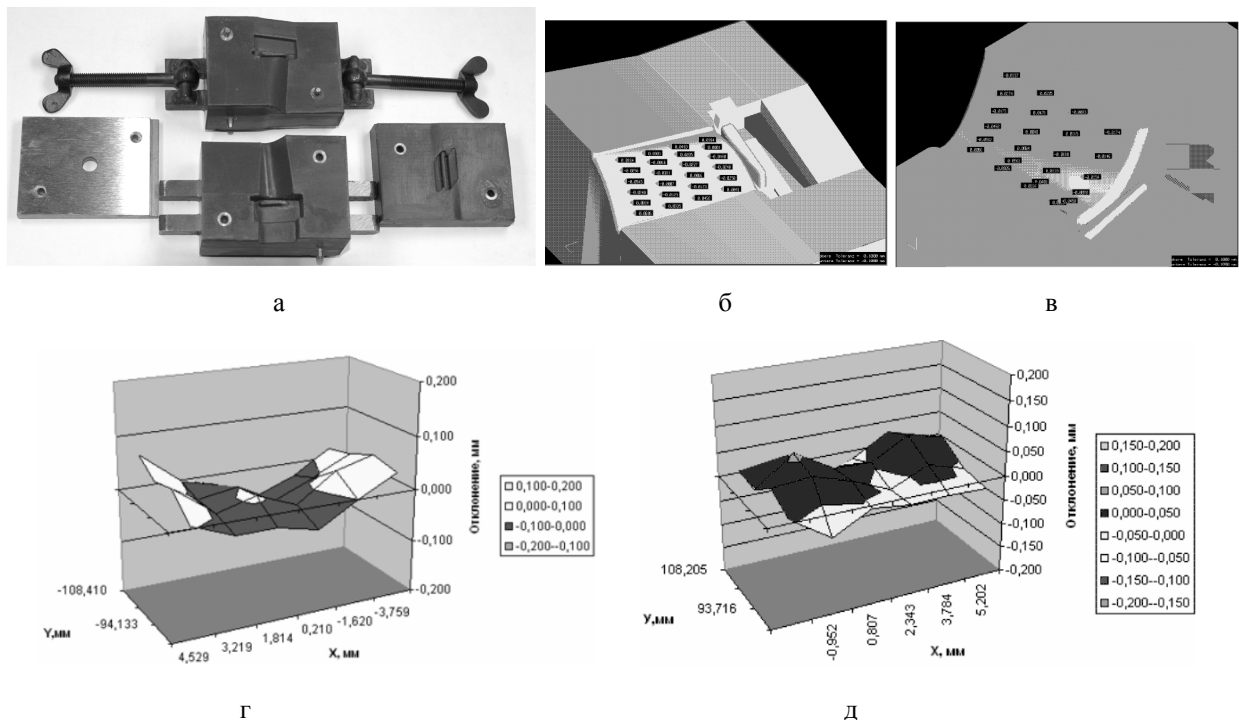


Рис. 8. Анализ отклонений поверхностей модельной металлополимерной пресс-формы от аналитического эталона:

а – модельная металлополимерная пресс-форма; б, в – аналитические эталоны деталей пресс-формы; г, д – распределение отклонений поверхностей деталей пресс-формы от аналитического эталона

При этом они могут быть использованы для коррекции аналитического эталона и, при необходимости, доработки оснастки.

### Выводы

Организация системы управления качеством заготовок лопаток турбин современных газотурбинных двигателей в виде замкнутого компьютеризированного цикла управления точностью лопаток турбин, основанная на применении метода аналитических эталонов, позволила:

- свести к минимуму количество изменений дорогостоящей металлургической оснастки,
- обеспечить высокое качество ее проектирования и изготовления, а также обеспечить повторяемость геометрии в дублерах.

### Литература

1. М'ялиця А.К. Технологічна підготовка літакобудівного виробництва в умовах дискретно-нестабільних програм випуску виробів / Автореферат дис. ... д-ра техн. наук. – К., 2003. – 28 с.
2. Новая методика проектирования оснастки для литья по выплавляемым моделям лопаток газотурбинных двигателей на базе компьютерных интегрированных систем / П.Д. Жеманюк, В.Ф. Мозговой и др. // Сб. тр. XI межд. конф. «Машиностроение и технология XXI века», т. 1. – Донецк. – 2004. – С. 262 – 265.

Поступила в редакцию 16.05.2005

**Рецензент:** д.т.н., проф. А.И. Долматов, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.