



---

## ОСНОВНИ АСПЕКТИ В ПРИЛАГАНЕТО НА CAD-CAE АНАЛИЗА НА СИСТЕМАТА „ДИСК – ЛОПАТКА“ ПРИ ГАЗОТУРБИННИТЕ ДВИГАТЕЛИ

Детелин Василев<sup>1</sup> Емил Янков<sup>2</sup> Мартин Иванов<sup>3</sup> Николай Тончев<sup>1</sup>  
[dvasilev@vtu.bg](mailto:dvasilev@vtu.bg), [tontchev@vtu.bg](mailto:tontchev@vtu.bg)

<sup>1</sup> Висше Транспортно Училище „Тодор Каблешков“ - София,  
<sup>2</sup> Русенски Университет „Ангел Кънчев“, <sup>3</sup> Нов Български Университет  
БЪЛГАРИЯ

**Ключови думи:** проектиране, CAD-CAE анализи, газотурбинен двигател, турбина, лопатка

**Резюме:** Съобщението е свързано с двата основни подхода на проектирането /CAD-CAE анализите/, осигуряващи повишаване прага на служебните характеристики на елементи от авиационната техника, както и нейната икономичност. CAE - изследванията се отнасят до моделиране на термо- и газодинамичните процеси, якостно-деформационното състояние на основни елементи от газотурбинния двигател - ГТД и тяхното взаимодействие, като итеративен процес при използването и прилагането на нови материали и технологии. Разработените модели са за оценка на изследваните величини от работата на ГТД, приложими при различни условия на експлоатация, с възможност за проиграване на избрани решения с изменение на входните параметри от потребителя. Обединяването на подобни методики, основани на ресурсното проектиране могат да изградят концепция за проектиране, обезпечаващо пълен ресурс при експлоатацията на изделията и високо ниво на тяхната безотказност. Докладът е методически и разглежда свойствата на обекта, чрез използване на съвременните информационни технологии и акцентът му обвързва процесът на избор на материал с конкретните индекси, наложени от схемата на натоварване.

### 1. Въведение

Производството на високо технологични изделия в световната икономика утвърди нов информационен подход, в основата на който стои категорията „качество“ [1]. Тази категория се свързва с информацията за свойствата на обекта на изследване, използващи информационните технологии при решаването на задачите от проектирането. Съвременните газотурбинни двигатели, като високотехнологични изделия - наукоемки и технологични продукти, са аналози, които по отношение на нивото на възникващите напреженията и характерното температурно състояние при тяхната работа не се срещат сред останалите изделия в машиностроенето. Тези двигатели са твърде разпространени силови изделия, използвани в транспорта /въздушния, сухопътния, водния/ и енергетиката. По различното си предназначение газотурбинните двигатели се различават помежду си главно по условията на работа,

използваните стойности на термодинамичните параметри и натоварване. Основните експлоатационни свойства са конструкционна якост, експлоатационен ресурс, пряко свързани с безопасната работа. Тези свойства определят и съвкупността от взаимосвързани процеси, последователно променящи състоянието на изделието от проектирането до неговата експлоатация. Проблемът с качеството се свързва пряко с проектирането и САЕ анализа на отделните елементи.

Повишената конкурентоспособност на продукцията от подобни отрасли на транспортното машиностроене, при наложилите се на пазара фирми и международни компании, изисква междудисциплинарно обединение между информационните технологии, математичното моделиране, оценяването и прогнозирането на състоянието на детайлите, оптимизиране параметрите на технологичните процеси, тяхното проектиране, изработване и вторично преработване. Само чрез подобно обединение се постига високо ниво на гарантирани служебни характеристики, икономичност и безотказна работа.

Прецизното определяне на якостното и деформационно състояние на лопатките на турбините може да стана след надежното определяне на тяхното топлинно състояние. За целта е необходим съвременен математичен модел на термо и газодинамичните процеси протичащи в горивните камери и турбините. Такива модели са описани в специализираната литература [2], но са сложни и излизат от рамките на настоящото разглеждане.

В серия от наши публикации се прилагат елементи от комплексен подход за използването на моделирането, оптимизацията и информационните технологии през всеки етап от жизнения цикъл, с което се цели повишаване на надеждността и информативността на изделието, като обект на управление, производство, експлоатация и ремонт.

Това изследване има за цел да демонстрира начина за избор на материал от САЕ - процеса на проектиране и да открие отделната му итеративна връзка с САЕ процеса за усъвършенстване на конструкцията. Изследването има методичен характер на внедряване на съществуващи вече методи, модели, технологии и програмни средства за моделиране и оптимизация. Изследванията на напрегнатото и деформирано състояние на основните детайли от двигателя са задължителни при ресурсното проектиране [3].

Моделът за якостна надеждност на основните детайли от авиационния двигател може да се представи, като взаимодействие на моделите за температурното състояние, натоварването на материала, неговият вид, като поведение и свойства, както и влиянието на технологията на обработване. Подобни изследвания са включени в бъдещи наши разглеждания.

Анализът на комплекса от получени взаимно обосновани информационни показатели, позволява да се осъществи проектиране на детайли в целия очакван ресурс и при гарантиране на безопасност.

## **2. Информационен модел и САЕ-САЕ анализ на системата „лопатка - диск“**

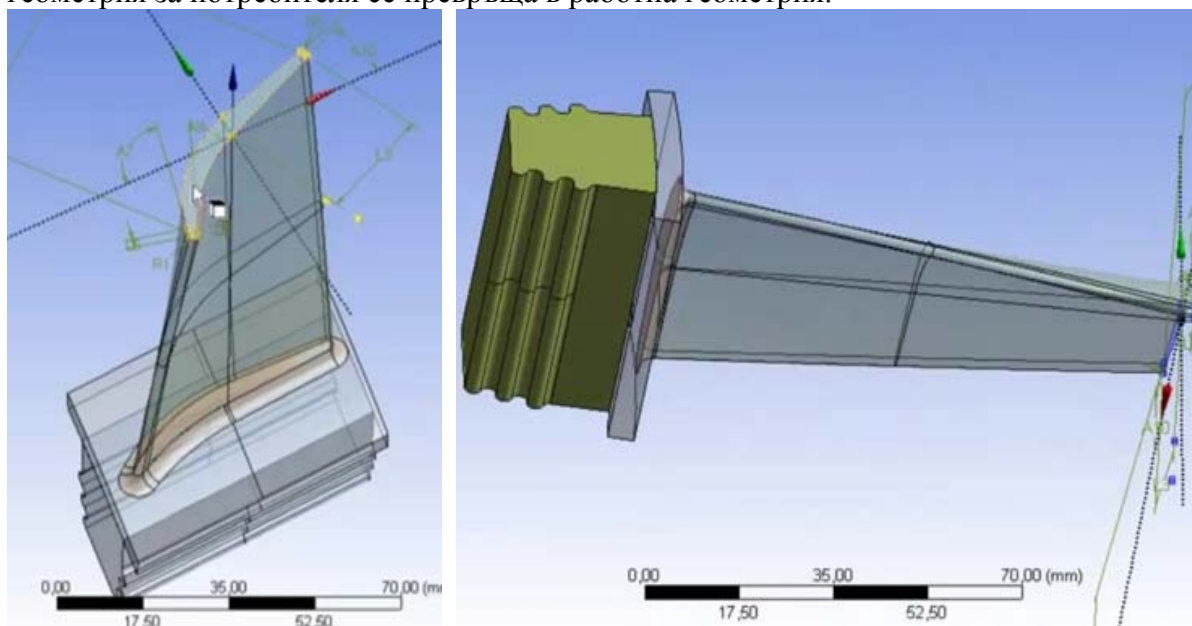
Особеностите на авиационното двигателостроене се отличава със средни габаритни размери и висока точност на детайлите, сложна геометрична форма и тънки стени, свързани с широко използване на трудно обработваеми и скъпи материали и голямо разнообразие на използвани процеси на тяхното обработване. Натоварването, действащо на основните детайли, зависи от режимите на работа. То има сложен, променлив по време характер, които се определя от неговия полетен цикъл. Възникващите напрежения в детайлите при високооборотните двигатели достигат стойности около 1300 - 1350 МПа [1]. По тази причина основните материали, от които

се изработват детайлите на газотурбинните двигатели са високояки легирани стомани, топлоустойчиви хром-никелови и титанови сплави, а за някои отделни елементи алуминиеви и магнезиеви сплави и композитни материали.

Неравномерността при нагряване на лопатките от турбината, води до възникването на температурни напрежения, които са до 30% от сумарните напрежения [3]. Роторните лопатки на компресора и турбината имат сложна триизмерна форма с малки размери по дебелина на профила. В тази връзка може да се определи основния комплекс от взаимосвързани фактори:

- кратковременна и продължителна якост;
- малоциклова изотермична и термомеханична умора;
- многоциклова умора от вибрационни въздействия върху детайлите;
- корозионно и ерозионно износване, предпоставка за огнище при зараждане на пукнатини от умора.

Първия етап от якостните изследвания е да се изгради мрежов модел. За анализът, който се изпълнява в този раздел се използва системата ANSYS. Моделът изобразен на фиг. 1, е изграден на база на изходната геометрия на конструкцията. Тази геометрия за потребителя се превръща в работна геометрия.

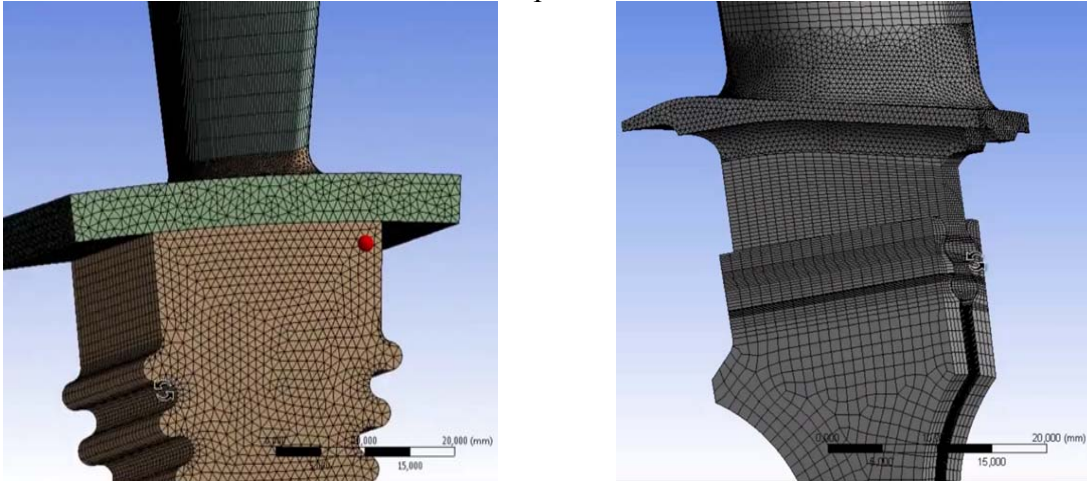


**Фиг. 1. Изходна геометрия на изследваната лопатка [1]**

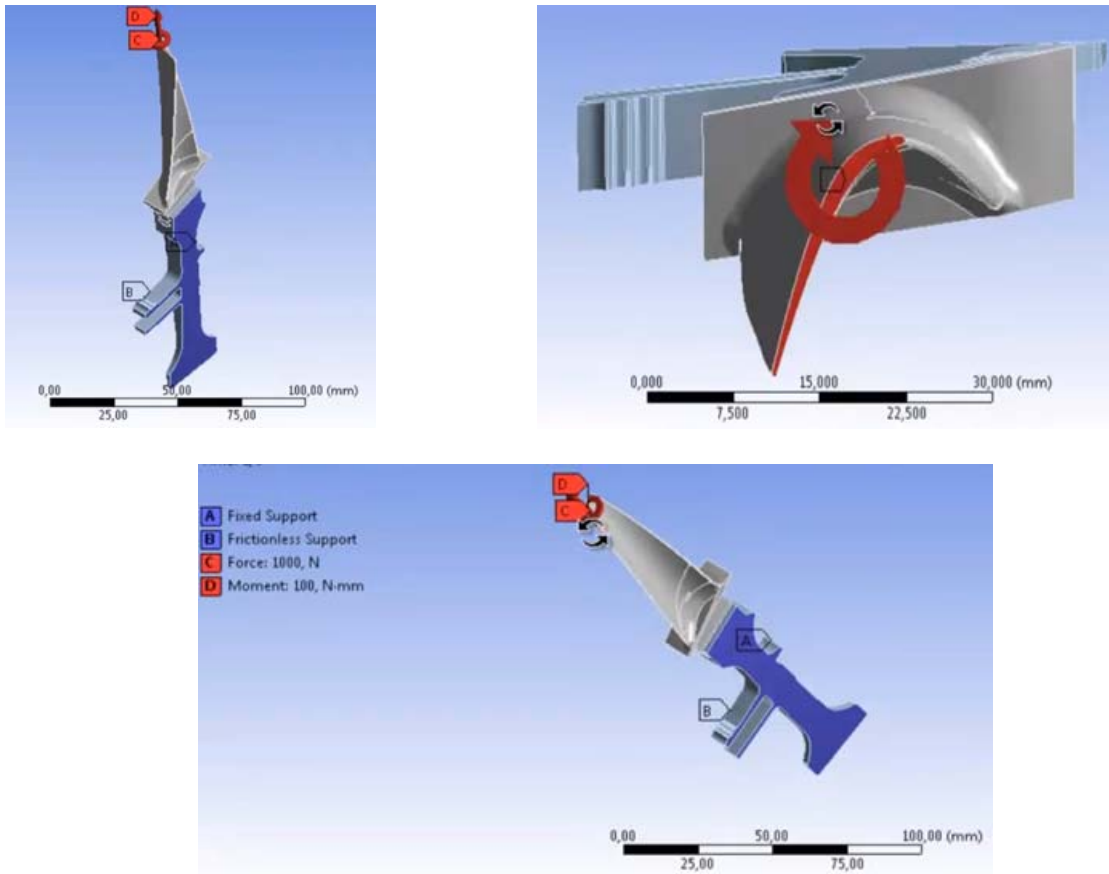
След построяване на геометрията е необходимо да се построи мрежовия модел, с помощта на който ще се осъществява САЕ анализа. Тази процедура се осъществява автоматично от програмната система. Едно примерно разпределение за описание на геометрия се осъществява от общ брой възли и общ брой елементи, на които е дискретизирана лопатката и частта от диска. На фиг. 2 е представена подобна дискретизация, при която броя на възлите е 552 565, а елементите са 195 605 .

След построяването на подобен мрежов модел е възможно да се изпълни последователност за построяването на механични приложения. Когато се открива това приложение на програмната система ANSYS, могат да се определят разпределенията на еквивалентните напрежения по von – Mises. Преди това е необходимо да се зададат определени гранични условия. Пресмятанията са осъществени с действаща опънова сила на стойност 1 000 [N] и приложен въртящ момент на стойност 100 [N mm]. На фиг.

3 са показани схеми с посоченото натоварване.

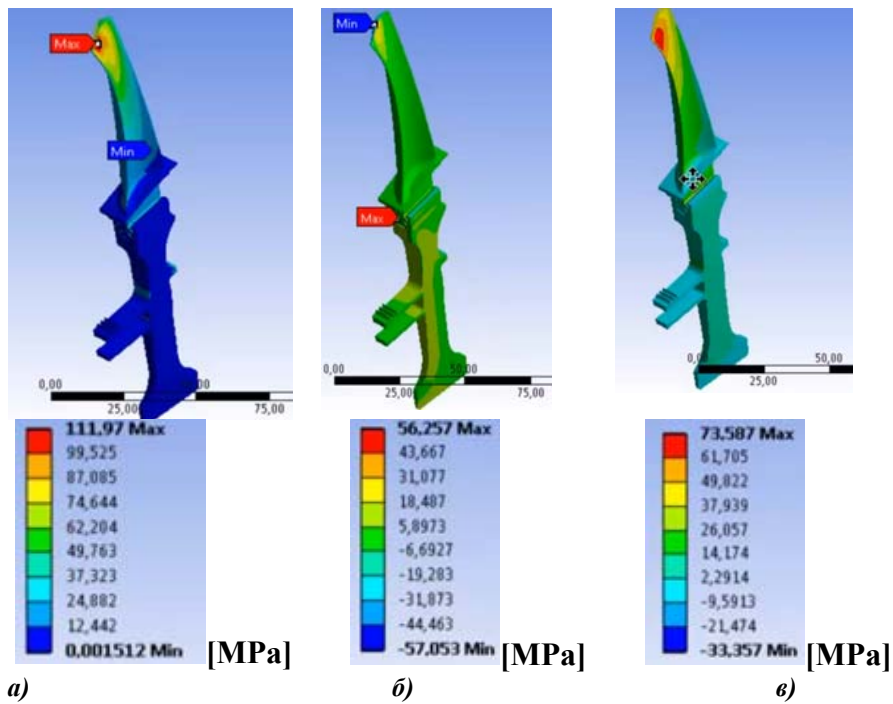


*Фиг. 2. Схеми на дискретизирания модел*

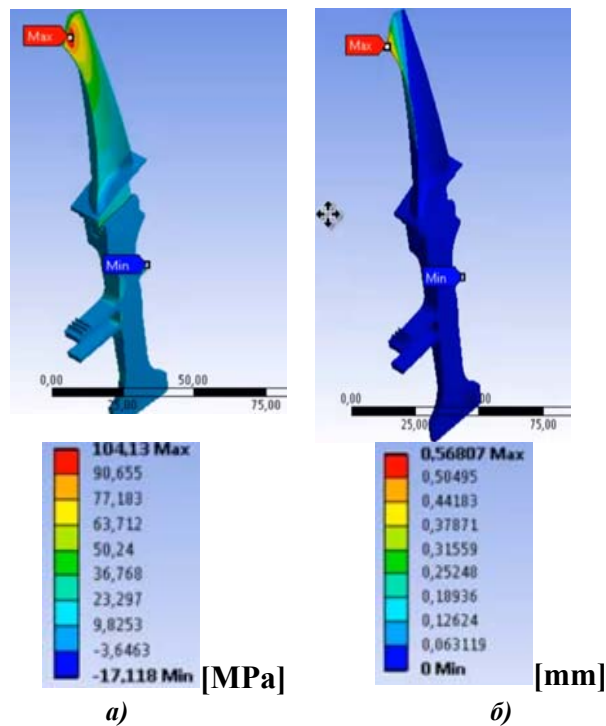


*Фиг. 3. Гранични условия, с които е осъществен анализа*

При тези условия може да се определи разпределението на напреженията в [MPa] по von – Mises /фиг. 4а /, както и нормалните напрежения по сечението на тримерния модел, съответно по ос Y /фиг. 4б / - ос X, /фиг. 4в /.



Фиг. 4. Разпределение на напреженията по сечението на лопатката.  
 Напрежения по von – Mises /фиг. 4а /, нормални напрежения по сечението на тримерния модел,  
 съответно по ос Y/фиг. 4б /- ос X/фиг. 4в /



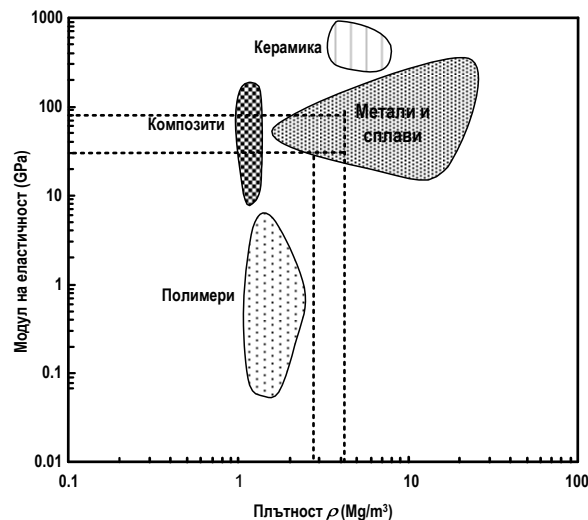
Фиг.5. Разпределение на общите напрежения в сечението – а),  
 разпределение на деформациите по сечението – б).

На фиг. 5а са представено разпределението на общите напрежения в сечението, а на фиг. 5б – деформациите по сечението. Всички максимални стойности на разглежданите величини се срещат в челната повърхност на лопатката, около приложените сила и момент.

Механиката на разрушаването се свързва с появата на пукнатини. Обикновено при анализа с пукнатините е те да се разположат в модела в места с концентрация на

напреженията. Възможно е да се проведе анализ с наличие на пукнатина, разположена в кореновото сечение на лопатката или в диска при захващането на лопатката. Подобно изследване ще бъде разгледано в бъдеща наша работа.

### 3. Подход за избор на материал за елементи от летателната техника.



Фиг.6. Графично представяне на процедура по избор на материал по два целеви параметъра [5].

Разглежданията в проектирането, от гледна точка на избора на материал се основават в пет стъпки: 1) установяване на изискванията към детайла/изделието, 2) очертаване на отделните класове/групи материали, които могат да бъдат използвани 3) рейтингуване на материалите в тези отделни класове/групи, 4) изследване на конкретните представители от отделните класове, групи и 5) отчитане на отделни специфични ограничения в процеса на избора с цел окончателен избор. Прилагането на този подход е пряко свързан с въвеждането на определени индекси, наложени чрез граничните условия от самото натоварване на тримерния обект /детайла/ с цел рационално определяне на материал и свойства.

С въведените от М. Asby [6] диаграми /фиг.6/ за избор на материал, които графично свързват две свойства се дава възможност да се покажи в графична среда, приложение и анализ на избраните количествени критерии за избор. Чрез индекси за напрегнатото състояние и граничните условия на натоварването се определя компромиса за удовлетворяване на противоположни цели/условия/свойства. Значението на намаляване на теглото в летателната техника в системата е основен фактор, който съществува още от самото начало на направените анализи. Следователно, използването на нови материали (композитни материали (керамика, метални и полимерна основа)) и нови видове структурни концепции, особено на тънкостенни тип (размер предимно въз основа на изкълчване) са за препоръчване. Намирането на материал с висока стойност на тези индекси максимизира ефективността на избора.

От гледна точка на конструкция основната функция за една подобна структура е тя да предава сили през пространството с възможно най-малко тегло и разходи за потребителя. Обикновено работата на конструкция е да балансира различните функционални изисквания (т.е. видове условия на натоварване (опън, натиск, огъване, вибрации, цикличност, свързана с умора и т.н.), при определените ограничения (технологичност от процеса на изработване, геометрични ограничения, екологични аспекти, условия, свързани с надеждността), и така докато се стигне до “оптимална”

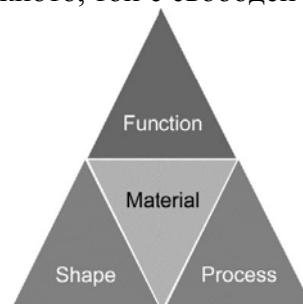
конструкция.

Тази задача може да се окаже твърде трудна, както за неопитните, конструктори, така и за практикуващите поради широката гама от възможности за избор, които са на разположение. В това разнообразие, като перспектива е необходима добра и систематична методология за свързване на материалите с тяхното приложение.

Съществената информация при изборът на материал е от основно значение за всички аспекти на инженерните материали. Естеството на данните, необходими в началните етапи на пресмятанията може да се различават значително в своето ниво на прецизност, от което проектирането се нуждае по-късно. В етапа на изграждане на концепцията обаче, конструкция изисква приблизителни стойности на свойствата и то сред по-широк кръг от материали. Заключителният етап на един работен проект изисква още по-високо ниво на прецизност, но само за един или много малка група от материали, свързани с предназначението на определеният обект. Такава информация може да се намери в базата данни на CAD продукта с който се моделира детайла.

В основата на процеса на избор на материал трябва да се отчита взаимодействието между предназначението (функция) на обекта, неговият материал и геометрична форма, и процес на изработване (фиг. 7). Функцията на обекта диктува избора на материали. За получаването/производството на определена форма, материалът се подлага на различни технологични процеси и тези процеси са свързани с методите на леене, пластична деформация или формоване, машинна обработка, заваряване, термично обработване, с цел уякчаване на материала. Това взаимодействие на формата с процеса има отношение към размерите, точността свойствата, което рефлектира върху цената. Колкото по-сложна е конструкцията на модела толкова са по-сложни взаимодействията, и съответно са и по-строги спецификации между тях.

Като първа стъпка се определя как конструктивните изисквания за тримерният модел/детайлът (определящи какво той трябва да изпълнява) се поемат от предписанията за материала? Всеки детайл, обикновено има основно една или повече функции: да поема товар, да съдържа налягане, да предава топлина, и т.н. Това трябва да се осъществи при спазване на ограничения: така, че: някои размери да са фиксирани; детайлът трябва да поема определени проектните натоварвания; да изолира, провежда и функционира в определен диапазон на температура и в дадена среда вкл. агресивна; и много други. Някои параметри могат да бъдат коригирани, за да се оптимизират с цел да се даде на конструкция свободата да варира с размери, които не са ограничени от изискванията на проекта и най-важното, той е свободен да избере материала.



*Фиг. 7. Сърцевината в изборът на материал се свързва с взаимодействието между предназначението на обекта, неговият материал и геометрична форма, и процес на изработване [5].*

Функция и ограничения, обективно са свободни променливи и се определят от граничните условия за избор на материали, а в случай на носещи компоненти, важна е и формата и размерът на техните напречни сечения.

В табл. 1 е детайлизирана за някои компоненти от летатилната техника информация, така че от нейната идеализация, схема на натоварване и ограничения, да

бъде полезна при прилагането и за целите на избор на материал. На фиг. 8. е показана схема за прилагането на съответния индекс по избрани функция, цел, и ограничение.

Таблица 1. – Идеализации, натоварване и ограничения на елементи от летателната техника [7].

Приложение	Идеализация	Натоварване	Ограничения
Подпорна система	Греда	Еластичност	Съпротивление
Корпуси	Цилиндър	Огъване от напрежение на компресия	Деформация от изкълчване
Валове	Тънкостенни тръби	Огъване и напрежение от усукване	Вибрация от огъване и напрежения на срязване
Горивни камери	Вътрешно налягане при тънкостенен цилиндър	Шум от налягане	Термично оксидиране
Лопатки (вентилатор, компресор, турбина)	Напречна греда	термично пълзене и умора поради напрежение на огъване	Сила на деформация, съпротивление, вибрация, ерозия, температура
Дискове (компресор, турбина)	Диск	Ротация, термична умора	Съпротивление, пластичност, издръжливост, оксидация
Дюзи	Тънкостенен цилиндър	Термичен шум от налягане	Съпротивление, вибрация
Крило	Плоча	умора от вибрация при усукване от напрежение на огъване	Искълчване, вибрация, съпротивление при деформация
Криогенни резервоари	Сферична обвивка   кожух	Термично вътрешно налягане	Съпротивление, нискотемпературно огъване преди счупване,

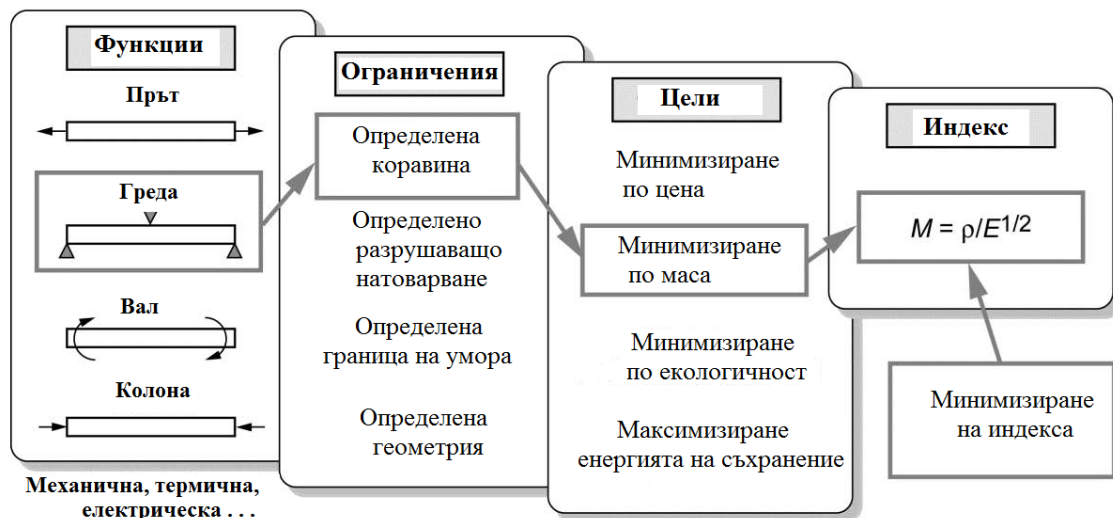
Ограничения са проектните изисквания, които трябва да бъдат съобразени при експлоатационното приложение на работата на детайла: например, минималната работна температура за материала на проектирания детайл трябва да бъде  $\leq -20^{\circ}\text{C}$ ; проектната якост /граница на провлачване/ трябва да бъде  $\geq 400 \text{ MPa}$ ; якост на удар трябва да бъде  $\geq 15 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$ , и така нататък.

Ограниченията отсяват неподходящи при избора материали.

Целите при проектирането са критерии, които трябва да бъдат увеличени или респективно сведени до минимум, за да се оптимизира работата на даден елемент. Тяхната функция е по тях да се рейтингуват материалите и да се улесни процедурата по подбор сред най-добрите представители. За избор на материали, целите могат да бъдат използвани за генериране на „съществени показатели за изпълнение“, които са комбинации от свойства на материалите, които характеризират ефективността на дадено приложение. Типични примери са специфичната коравина на материала  $E/\rho$ , и специфичната якост  $\sigma_f/\rho$ . [9].

Свободните променливи са всички параметри, които са оставени свободни за избор от конструкция. Примери за това са: площ на напречното сечение, дължина, дебелина, вид материал, цвят и т.н.





Фиг.8. Определяне по функцията, целите и ограниченията до индекс на материала (Ashby 2005) [7].

За да се определи рационалният представител сред множеството подходящи материали Ashby въвежда критерии за оптимизация, които нарича ограничения за скрининг. Чрез тях той намира в индексите на подмножество материалите, които могат да бъдат включени в разглежданията. Изпълнението понякога се ограничава от едно свойство, а по-често чрез комбинация от свойства. Например, най-добрите материали за летателната техника са тези с най-ниска плътност,  $\rho$ ; а тези, които предлагат най-добра топлоизолация са тези с най-малките стойности на топлопроводимост,  $\lambda$ . Тук максимизирането или минимизирането на едно единствено свойство може да доведе до увеличаване производителност/ефективност.

Свойство или група от свойства, която максимизира ефективността на даден проект, базирано на методиката на Ashby за избор на материал е отчено/определено на база на разглеждания материален индекс. В този доклад са събрани подобни индекси, свързани с увеличаване на някои аспекти при работата на елементи от летателната техника, определени от табл. 1. Тези индекси дават представа за определени насоки за избор на материал на даден елемент, както и видовете стратегии за оптимизацията сред останалите представители от класа.

Под отхвърляне (или скрининг) по определени свойства, Ashby в своите работи разбира изолирането на кандидати, които са в състояние да бъдат избрани, както и класиране и идентифициране на онези от тях, които могат да упражнят разглежданите свойства най-добре.

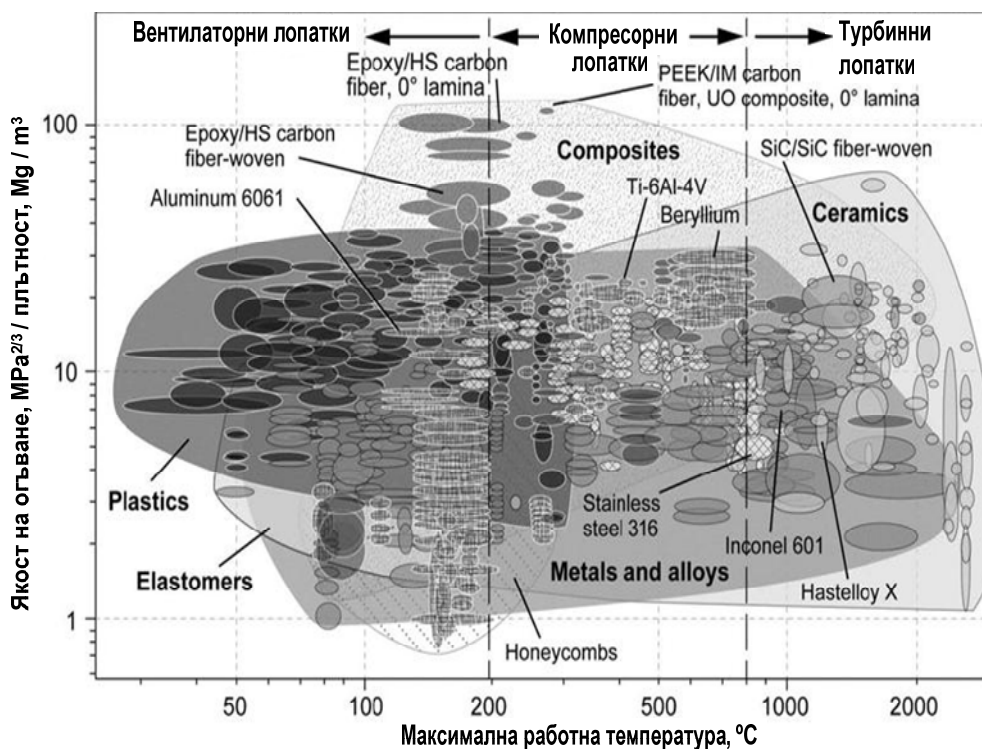
Окончателният избор между конкуриращи се кандидати, често зависи и от някои местни условия: експертизата в компанията или специфично оборудване с която тя разполага или от възможностите на местни доставчици, и така нататък. Системната процедура в този случай не може да помогне тук - решението трябва да се основава на местни / институционални знания. Това не означава, че в резултат на това процедура (описана по-горе), е без значение. Винаги е важно да се знае кой материал е по-добър, дори ако по други причини (например, специфичен метод за евентуална преработка на материала е да е по-скъпа), вие не решавате да го използвате.

Важно авиационно приложение, което може да се използва, за да се илюстрира процеса за избор на материал, съгласно целите на доклада е, лопатката на вентилатора, компресора или турбината в газотурбинния двигател. Основната функционална разлика в лопатките използва в различно място е размер, форма и работна температура. Лопатката може да бъде идеализирана като конзолна греда подложена на комбинация от аксиално напрежение (поради центробежните сили), огъване (поради промени на налягането в острието) и вибрационни натоварвания (поради движението на ротора и

бързо променящ областта на въздушния поток в двигателя), натоварване което беше взето под внимание при изчисленията във 2-ри раздел. В зависимост от тези условия на фиг.9 са посочени материали за трите вида лопатки.

Таблица 2. Индекси при избор на материалите за дадена схема на натоварване [7]

Функция и ограничения	Проектиране с ограничения от коравината	Проектиране с ограничения от якостта	Проектиране с ограничения от вибрациите
<b>Греда (опора на опън)</b>			
Коравина със зададена дължина; свободно сечение	$E/\rho$	$\rho \sigma_f$	$E/\rho$
<b>Вал (натоварен на усукване)</b>			
Коравина, дължина, зададена форма; свободно сечение	$G^{**1/2}/\rho$	$\rho \sigma^{**2}/3_f$	
Коравина, дължина, зададен външен радиус; свободна дебелина на стената	$G/\rho$	$\rho \sigma_f$	
Коравина, дължина, зададена дебелина на стената; свободен външен радиус	$G^{**1/3}/\rho$	$\rho \sigma_f^{**1/2}$	
<b>Греда (натоварена на огъване)</b>			
Коравина, дължина, зададена форма; свободно сечение	$E^{**1/2}/\rho$	$\rho \sigma^{**2}/3_f$	$E^{**1/2}/\rho$
Коравина, дължина, зададена височина; свободна ширина Зададени всички размери / размерности	$E/\rho$	$\rho \sigma_f$	$E/\rho$
Лост (коса подпора, отказ при еластично изкълчване)			
Натоварване при изкълчване, дължина, зададена форма; свободно сечение	$E^{**1/2}/\rho$	$\rho \sigma_f$	
<b>Панел (плоскт, натоварена на огъване)</b>			
Коравина, дължина, зададена ширина, свободна дебелина Зададени всички размери / размерности	$E^{**1/3}/\rho$	$\rho \sigma_f^{**1/2}$	$E^{**1/3}/\rho E/\rho$
<b>Панел (плоскат, равнинно-смачкана, отказ на изкълчване)</b>			
Натоварване на свиване, зададени дължина и ширина, свободна дебелина	$E^{**1/3}/\rho$	$\rho \sigma_f^{**1/2}$	
Цилиндър с вътрешно налягане			
Еластична деформация, зададени налягане и радиус; свободна дебелина на стената	$E/\rho$	$\rho \sigma_f$	
<b>Сферична обвивка /кожух с вътрешно налягане</b>			
Еластична деформация, зададени налягане и радиус; свободна дебелина на стената	$E/(1-\nu)\rho$	$\rho \sigma_f$	



Фиг. 9. - Якост на огъване в сравнение с максималната работна температура [4].

Фиг. 9. показва защо се правят значителни инвестиции за развитието на композитните материали, за да се даде възможност на значително по-леки елементи да издържат по-високи температури.

Ключови материални индекси, приложими за описанието на два проблема термични и механични, приложения от избора на материал за детайли от летателната техника са показани в табл. 3. Ясно е, че е желателно да се използват материали, които притежават висока якост, висока якост на счупване и висока твърдост, както и с ниска плътност. Въпреки това, нито един материал не осигурява този комплекс от свойства едновременно. Следователно, материалните индекси за изпълнение, са свързани с тези свойства, като например тези, дадени в табл. 3, трябва да бъдат използвани за идентифициране на най-добрите представители за елементи от летателната техника. Сред тези параметри, якостта и плътността трябва да доминират сред критериите за проектиране.

Таблица 3. Показатели за ефективност на материали, работещи при сложни термични и механични условия .

Функция и ограничения	Показател за ефективност, максимизация
<b>Термична</b>	
Минимален топлинен поток в равновесно състояние, фиксирана дебелина за минимално увеличение на температурата за зададено време, фиксирана дебелина за максималната съхранена енергия при зададено температурно увеличение и времева минимална термич-на деформация	$1/k \ 1/a \ k/\alpha \ 1/2 \ k/\alpha$
<b>Механична</b>	
Проектиране с ограничаване на съпротивлението при минимална маса, проектиране при устойчивост по разрушение и при минимална маса, проектиране с ограничение на деформацията при минимална маса	$\sigma_f / \rho \ K_{Ic} / \rho \ E / \rho$

Където:  $k$  = термична проводимост;  $a$  = термична дифузия ( $k/\rho C_p$ );  
 $\rho$  = масова плътност;  $C_p$  = специфична топлина;  $\alpha$  = коефициент на термично разширение;  $\sigma_f$  = съпротивление срещу разрушаване;  $KIc$  = режим I якост на удар;  $E$  = модул на Young;

В табл. 4-6 са показани аналози на материали, използвани в различните страни за изработването на лопатки, дискови горивни камери, турбини, както и примерни химически състави на съответните материали и основни им свойства

Таблица 4. Примерни химични състав и свойства на диска и лопатката.

Статорни лопатки Диск Роторни лопатки									
Химичен състав на титанова основа									
№	Al	Si	Mo	Zr	Fe	C	O	H	N
#1	6.0	0.1	1.5	2.0	Max				
#2	7.0	0.3	3.0		0.25	0.1	0.015	0.05	
Механични свойства при 20° C									
Rm 1150 MPa		A=6-8%		Z=15%		KCU = 250kJ/m <sup>2</sup>			

Таблица 5. Материали химичен състав и свойства на турбината.

Турбина								
Германия DIN, WNr			Русия /ГОСТ/			Япония/JIS/		
2.4952 NiCr20TiA			XH77ТЮР			NCF80A		
Химичен състав на никелова основа								
№	Ni	Cr	Ti	Al	Fe	Mn	Si	Nb
#1	70- 77	19- 22	2.6	0.8	max 1.0	max 0.4	max 0.8	1.25
Механични свойства при 20° C								
Rm = 880 MPa		Re = 620 MPa		A=17%		Z= 20%		KCU = 400kJ/m <sup>2</sup>

Таблица 6. Примерен химичен състав и свойства на горивна камера

Горивна камера								
USA			Русия /ГОСТ?			Япония /JIS/		
UNS07750			XH80ТБЮ			NCF750		
Химичен състав на никелова основа								
№	Ni	Cr	Ti	Al	Fe	Mn	Si	Nb
#1	72-82	17	2.0	1.0	max 3.0	max 1.0	max 0.8	1.25
Механични свойства при 20° C								
Rm = 950 MPa		Re = 650 MPa		A=18%		Z= 22%		KCU = 700kJ/m <sup>2</sup>

## Заклучение

Приложен е комплексен подход за използването на моделирането, оптимизацията и информационните технологии в етапа на проектиране, като част от жизнения цикъл, с което се цели повишаване на надеждността и информативността на изделието, като обект на управление и производство.

В това изследване е демонстриран начина за избор на материал от CAD - процеса на проектиране и е открояна отделната му итеративна връзка с CAE процеса за усъвършенстване на конструкцията.

## Литература:

- [1]. Демин Ф.И., Н. Д. Прописев, И.Л. Шинтрев, Технология изготовления основных деталей газотурбинных двигателей: Учеб. пособие. - М.: Машиностроение. 2002.
- [2]. Mutafchiev M. Квазистационары модель процесса, протекающий в газотурбинных двигателях - International Scientific & Practical Conference -World Science „Scientific Issues of the Modernity (April 27-28, 2016, Dubai,UAE )” Journal.
- [3]. Богуслаев А. В., Ал. А. Олейник., Ан. А. Олейник., Д. В. Павленко., С. А. Субботин. Прогрессивные технологии, моделирования, оптимизации и интеллектуальной автоматизации, этапов жизненного цикла авиационных двигателей, Монография, Запорожье, 2009.
- [4]. Materials selection for aerospace systems. NASA/TM—2012-217411.
- [5]. Anderson, T.L., (2005), *Fracture Mechanics: Fundamentals and Applications*, CRC Press, Taylor & Francis.
- [6]. Ashby, M. F. (1992), *Materials Selection in Mechanical Design*, Pergamon Press, Oxford, U.K.
- [7]. Ashby, M. F. (1998), “Checks and estimates for material properties”, Proc Roy Soc A454: pp. 1301– 1321.
- [8]. Ashby, M. F. (2011), *Materials selection in mechanical design*, Fourth Edition. Oxford, Butterworth-Heinemann.
- [9]. Ashby, M. F., Cebon, D., Bream, C., Cesaretto, C., and Ball, N. (2010), “The CES Hybrids Synthesizer – A White Paper”, Granta Design Limited.

## KEY ASPECTS OF THE APPLICATION OF CAD-CAE SYSTEMS ANALYSIS "DISC - BLADE" IN GAS TURBINE ENGINES

Detelin Vasilev<sup>1</sup>, Emil Yankov<sup>2</sup>, Martin Ivanov<sup>3</sup>, Nikolai Tonchev<sup>1</sup>  
[dvasilev@vtu.bg](mailto:dvasilev@vtu.bg), [tontchev@vtu.bg](mailto:tontchev@vtu.bg)

<sup>1</sup> *Todor Kableshkov University of Transport*, <sup>2</sup> *Ruse University “Angel Kanchev”*,  
<sup>3</sup> *New Bulgarian University*  
**BULGARIA**

**Key words:** design, CAD-CAE analyzes, gas turbine engine turbine blade

**Abstract:** The paper is associated with the two main approaches to the design / CAD-CAE analysis / providing raising the threshold of the official characteristics of elements of aviation equipment, as well as its economy. CAE - research related to modeling of thermal processes strength-deformation condition of the main elements of a gas turbine engine - GTE and their interaction as an iterative process in the use and application of new materials and technologies. The developed models to assess the variables studied the work of GTE, applicable to different operating conditions, with the possibility of simulation of selected solutions change the input parameters from the user. Combining such techniques based on resource planning can build concept design, complete resource in the operation of the products and high level of their reliability. The report is methodical and consider the properties of the object through the use of modern information technology and his accent binding process of selection of material specific indices imposed by the scheme load.