

МНОГОКРИТЕРИАЛЕН АНАЛИЗ НА ЕЛЕМЕНТ ОТ ТРАНСПОРТНА СИСТЕМА, С ОТЧИТАНЕ НА ИКОНОМИЧЕСКА ЕФЕКТИВНОСТ

Иван Петков, Николай Тончев, Валентин Гайдаров
tontchev@gmail.com

*Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”,
1574 София, ул. „Гео Милев” 158,
БЪЛГАРИЯ*

Ключови думи: *елемент от транспортна система, оптимизация на размери, икономическа ефективност*

Резюме: *По данни от руски експеримент и модерни САЕ (Computer Aided Engineering) пресмятания е приложена наша методика с цел установяване на геометрична форма и размери на оптимален елемент от транспортна система. Същата е оптимизирана, както по отношение експлоатационни, така и по икономически показатели. Изследването по своята същност представлява иновация за внедряване на? влиянието на геометричните размери на изделието върху САЕ показателите и тяхната експлоатационна ефективност. Когато е постигната експлоатационна ефективност чрез няколко алтернативи се прави икономически анализ на решението. В този смисъл изследването може да се класифицира в групата на изследванията с приложна експлоатационно-икономическа ефективност.*

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Едно от основните направления за създаване на високоефективни, конкурентни изделия е формирането в етапа на проектиране им, на такъв набор/комбинации от техни параметри и характеристики, които да осигуряват удовлетворяване на набора от конфликтни изисквания за различните работни режими при експлоатация. С тази задача нашата методика [1] се прави опит да се приложи за едновременно оптимизиране на геометрични, физични и косвено икономически показатели. Все по-често се осъществява значителна преориентация на изследователските и проектни части от работата от физическо САЕ симулиране на изделията и техните режими на функциониране към използването на модели с цел оптимизация. Такива подходи, заедно с присъщите им инструменти, имат процедури за оптимизиране на параметрите (статичните свойства) на симулирани системи, базирани на нелинейни методи на програмиране и математическата теория на експерименталното проектиране. Формирането на характеристики на разработените инженерни продукти (динамични свойства) с помощта на подобни инструменти не е предвидено в съществуващите системи за виртуално моделиране, което намалява техния инструментален потенциал.

В същото време е възможно да се решат конкретни проблеми с изчисляването на характеристиките при задаване на фиксирани стойности за параметрите на

симулирания продукт. При наличието на допълнителни инструменти, това ни позволява да преминем към автоматизираното формиране на рационален набор от параметри за инженерните продукти.

За да се приложи подобен подход е необходимо да се определят входящите параметри на изделието. В разгледания учебен пример [2] това са геометрични параметри на заглушител към ауспух. Граничните параметри се избират така, че описаните ситуации да гарантират експериментални конструкции, които да се характеризират стабилна (правилна) структура, независимо от броя на променливите параметри. Това дава възможност да се формулират такива планове в автоматизиран режим, както и да се изградят регресионни модели на процеса и да се оптимизира набора от изучени параметри и характеристики на процеса. Съществуват различни експериментални планове. Изборът им се прави в зависимост обекта на изследване и данните, които се обработват, трябва да са достатъчни за извеждането на адекватен модел.

2. ПОСТАНОВКАТА НА ЗАДАЧАТА Е СЛЕДНАТА:

За да се определи комбинацията/набор от оптимални стойности за параметрите на изделието „Заглушител“ - елемент от изпускателната система на изгорелите газове е необходимо да се дефинират за процеса на горене на автомобила следните условия:

1. конструктивната схема на изделието и тримерен модел показани на фиг. 1 [2];
2. стойностите на вариране на параметрите на изделието са дадени в табл. 1 [2];
3. всички елементи на продукта са изработени от легирана стомана с дебелина 2 mm [2];
4. масов дебит на входящия поток $dm/dt = 0,1 \text{ kg/s}^2$, температура - 400 K, турбулентност на входящия поток - 2%; има ли квадрат на секундата?
5. изходният поток се изхвърля в атмосферата при нормални условия;
6. критериите за качество на частните проекти са:
 - маса на продукта ($\varphi_1 = M \gg \min$);
 - обща повърхност на продукта ($\varphi_2 = S \gg \min$);
 - максимален дебит ($\varphi_3 = V \gg \min$);
 - максимална температура на газа ($\varphi_4 = T \gg \min$).
7. интегралният критерий за качество [2] ($K \gg \min$) за тези конфликтни конкретни критерии.

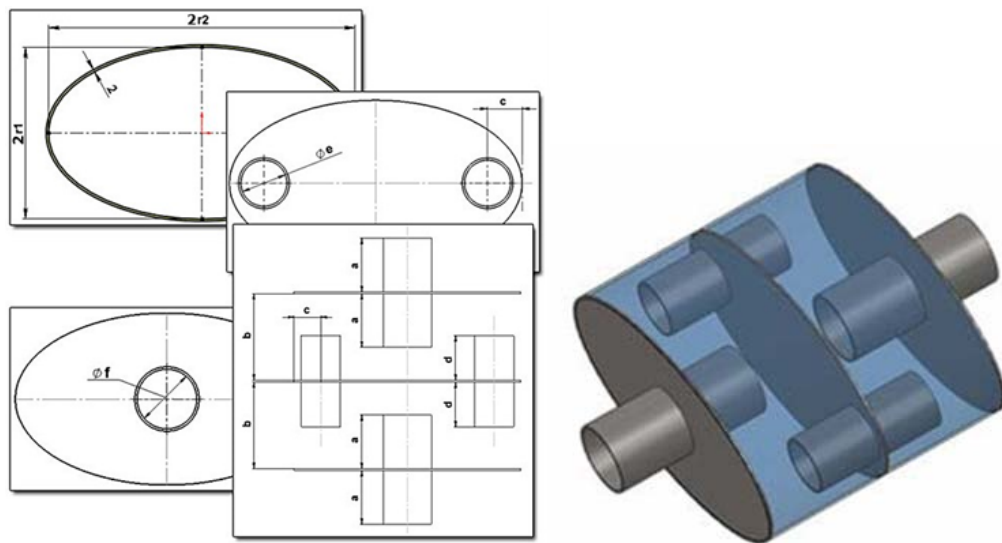
В [2] е изследван подробно въпросът за влиянието на геометричните размери на конструкцията върху условията на работа на ауспуха. Анализирани са план от геометрични размери, който е представен в табл. 1. Означенията за промяната на основните геометрични параметри, като комбинации от табл. 1 са представени в на фиг.1. Различните геометрични параметри на заглушителя като комбинации водят до различни състояния на определените от САЕ системата параметри от механиката на флуидите. Те определят и различните експлоатационни параметри на изследвания елемент. Илюстративно е изобразен САЕ анализът [2] на две състояния (вариант №1 и вариант №2 от табл. 2) на конструктивните елементи – фиг. 2. Те дават графична интерпретация на контролирания флуиден процес. За справка цветовете са представени и САЕ флуидното разпределение на оптималната конструкция.

Поставената задача ще обходи следните етапи:

формулиране на целта на експеримента и ограничения на параметрите и характеристиките на процеса;

- присвояване (посочване в модела) на броя и вида на променливите параметри на продукта;

- формиране на експериментален план и разширена матрица за планиране;
- определяне и фиксиране на характеристиките на изследвания продукт и ограничения с набор от параметри, съответстващи на линиите на експерименталния план;
- изчисляване на коефициентите на регресионните уравнения за числово описание на диапазона от стойности на изследваните характеристики;
- определяне на стойностите на изследваните характеристики, които удовлетворяват съвкупността от конфликтни изисквания към продукта, който се разработва;
- проверка на характеристиките на процеса с получения набор от параметри на продукта;



Фиг.1. Конструктивни параметри и модел на изделието [2]

- сравняване на решенията между използваните подходи и внедряване на примера в учебния процес на ВТУ.

Геометрични параметри на вариране на размерите на изследването [2]

Таблица 1

Параметър, mm	Ниво на вариране			Идентификатор
	Долно	Средно	Горно	
a	60			
b	80	100	140	x1
c	$5 + e/2$			
d	40	50	60	x2
e	20	30	40	x3
f	50			
r_1	70			
r_2	r1	100	130	x4

Комбинациите от определените в табл. 1 променливи са посочени в табл. 2. С комбинациите в посочените в табл. 2 размери е проведен САЕ експеримент, резултатите от който е посочен в табл. 3 [2].

Алгоритъмът е реализиран за всички основни режими на работа на продукта, което осигурява необходимата информационна база за последващи решения за

усъвършенстване на структурни схеми на елементи и възли от гледна точка на контрол на техните свойства:

- поетапно конструктивно превключване на режимите на работа;
- адаптивна промяна на свойствата с помощта на системи за контрол на проследяване.

3. РЕЗУЛТАТИ ОТ ИЗСЛЕДВАНЕТО

Многорезимната работа на изделието с различни комбинации между конструктивните размери води до необходимостта от формиране на компромисно решение, което отговаря в най-голяма степен на целия набор от конфликтни изисквания към проектираното изделие. Поради тази причина в [2] е предложен интегрален критерий за качеството на процеса, който изключва възможността за компенсиране на загубата на качество на някои показатели с високото качество на други показатели. Подходът на ВТУ е различен от приложения и това е предпоставка да се сравнят двете решения. Използването и на двата подхода се основава на принципа на Парето, което позволява да се намали значението на проблем с много конкретни критерии до проблем с един интегрален критерий за качество. Освен това стойностите на коефициентите на тежест на определени критерии могат да се определят и прецизират автоматично в процеса на решаване на проблема.

Определянето на системата на коефициентите на претегляне и класирането на решенията от областта Парето в нея води до оптимален компромис, балансиран от несъответствието на определени критерии.

Решение:

1. Формира се план на числен експеримент с 4 променливи.

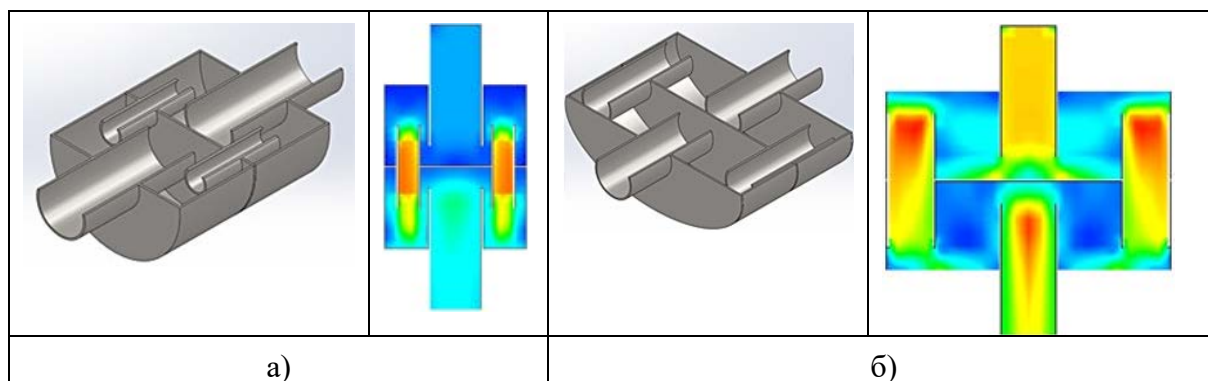
Експериментален план с комбинациите на вариране[2]

Таблица 2

№ на геометр. комбинация	B	d	e	r_2
1	80	40	20	70
2	80	60	40	130
3	140	40	40	130
4	140	60	20	130
5	140	60	40	70
6	140	60	20	70
7	140	40	40	70
8	140	40	20	130
9	80	60	40	70
10	80	60	20	130
11	80	40	40	130
12	140	50	30	100
13	100	60	30	100
14	100	50	40	100
15	100	50	30	130

2. Съгласно 15-те комбинации на моделите на изделието по плана се построяват моделите

и характера на течението на газовете за изследваните варианти по методика [1].



Фиг. 2. САЕ флуиден анализ на две състояния а) вариант №1 и б) вариант №2 за две конструктивни състояния от табл. 2 [2]

Резултати от пресмятанията [2]

Таблица 3

Номер	M , kg	S , m ²	V , m/s	T , K	K
1	2,59	0,344	118,90	569,91	1,252
2	4,03	0,530	94,07	481,06	1,081
3	5,08	0,665	58,99	448,25	1,387
4	5,02	0,650	59,96	329,89	1,293
5	3,59	0,468	122,26	667,36	1,576
6	3,42	0,443	73,09	428,88	0,578
7	3,71	0,480	122,33	678,66	1,626
8	4,94	0,639	61,13	332,24	1,249
9	2,88	0,373	137,99	687,21	1,731
10	3,73	0,483	67,61	357,68	0,621
11	3,85	0,500	91,03	464,46	0,952
12	4,29	0,556	74,10	395,28	0,957
13	3,68	0,477	78,88	434,70	0,737
14	3,70	0,479	94,17	539,64	1,049
15	4,26	0,552	78,34	411,79	0,976

Вследствие на оптимизацията в [2] са определени следните оптимизирани параметри на конструкцията: $b = 92,4$; $d = 59,9$; $e = 20,1$; $r_2 = 99,2$, показан на вариант 16. В [2] е изследвана оптималната конструкция, чрез характера на течене на газовете и регистрирания частен критерий- ($M = 3,54$ kg; $S = 0,466$ m²; $V = 61,15$ m/s; $T = 342$ K). В този случай изчислената стойност на интегралния критерий на качеството е - 0,513.

Прилагайки наша методика [1] по представените в табл. 3 експериментални резултати се установи по-ниска стойност на интегралния критерий. По данни в [2] интегралния критерий има експериментална стойност $K_p = 0,513$. Геометричните размери на това решения са посочени в табл. 5.

Изведеният модел, съгласно променливите от табл. 1, има вида:

$$(1) \quad K(X_1, X_2, X_3, X_4) = 0.798490 + 0.0767501X_1 - 0.056251X_2 + 0.29075 X_3 - 0.077625 X_4 + \\ + 0.0817587X_1^2 + 0.052X_1X_2 + 0.2 X_1X_4 + 0.0228842 X_2^2 + 0.07375X_2X_3 + \\ 0.093875X_2X_4 - 0.0238164 X_3^2 - 0.14125X_3X_4 + 0.337558.X_4^2$$

Последователността изисква за кодирани стойности да се изведе регресионен модел, въз основа на който за определени други алтернативи на размери на заглушителя руските колеги да определят експлоатационното САЕ разпределение. Въз основа на това може да се достигна и до по-оптимално решение.

Анализът на модел (1) графично е интерпретиран на фиг. 3. Във 9 възела от интервала $[-1;+1]$ със стъпка 0,25 са визуализирани 6561 (9^4) комбинации от управляващите параметри. В синьо са показани стойности от интегралния критерий, по-малки от 10% спрямо минималната стойност от модела.

Графичната визуализация на фиг. 2 нормира спрямо минималната и максималната стойности на модела подредени по определен начин 81 контурни диаграми на променливите с линии на постоянни нива, построени от 6561 комбинации. Променливите X_1, X_2, X_3, X_4 в графичното изображение се променят по следният начин:

- Глобално X_1 - хоризонтално; X_2 – вертикално;
- Локално за всяка елементарна диаграма X_3 - хоризонтално; X_4 – вертикално.



Фиг. 3. Графична интерпретация на регресионен модел (1)

Въз основа на резултатите от оптимизацията в [1] се получават компромисни стойности на основните геометрични параметри на продукта, които отговарят на противоречив набор от изисквания на поставения проблем. В табл. 4 са посочени резултати от комбинации на управляващите параметри, които след оптимизация притежават по-малък интегрален критерий от този, посочен в [2].

От анализа на табл. 4 може да се установи, че управляващите параметри X_3, X_4 нямат толкова голямо отношение към намаляването на интегралния критерий.

В табл. 5. са посочени окончателните конструктивни размери на оптималните решения.

Таблица 4. Минимални стойности на интегралния критерий на модел (1)

№	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	% от min (1)	Kp
1	-1	0	-1	0	9,59 %	0,4889
2	-1	0,75	-1	0	2,29%	0,369
3	-1	1	-1	0	0,21%	0,3349
4	-0,5	1	-1	0	0,41 %	0,3382
5	0,5	1	-1	0	8,29 %	0,4675
6	0	0	-1	0	5,85 %	0,4275

Таблица 5. Конструктивни размери на цитирано и нови решения

№	B [mm] X ₁	D [mm] X ₂	E[mm] X ₃	R2 [mm] X ₄	Kp
1	92,4	59	20,1	99,2	0,513 [2]
2	80	57,5	20	100	0,3691
3	100	50	20	100	0,4275

Получените решения №2 и №3 превъзхождат по маса решение №1, определено [2]. Двете решения се предлагат на експертите за вземане на окончателно решение.

4. ИЗВОДИ:

1. Методика на ВТУ е приложена при оптимизирането на геометрични размери на изделие от транспортна система;
2. Изведен е регресионен модел и са получени по-оптимални, като стойност, решения на задача дефинирана в [2];
3. Новополучените компромисни решения са с основните геометрични параметри, реализиращи икономия на материал.

Авторите изказват благодарност на фонд „Научни изследвания“ при ВТУ, който финансира това изследване по проект №90/26.05.2020

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Tontchev N.T., Materials Science, Lambert, 2014
- [2] Дьячков Ю.А., Дипломное проектирование. Содержательный аспект: учеб. пособие / Ю. А. Дьячков, А. А. Грабовский, И. И. Торопцев. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2012, 196 стр.
- [3] Берлинер Э. М., САПР в машиностроении / Э. М. Берлинер, О. В. Таратынов. – М. : ФОРУМ, 2010, 448 стр.
- [4] Алямовский А., Собачкин А. А., Одинцов Е. В., Харитонович А. И., Пономарев Н.Б., SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике, – СПб. : БХВ-Петербург, 2008, 1040 стр.
- [5] Алямовский А. А., SolidWorks / COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов / А. А. Алямовский. – М. : ДМК Пресс, 2004., 432 стр.

MULTICRITERIAL ANALYSIS OF AN ELEMENT OF A TRANSPORT SYSTEM, TAKING INTO ACCOUNT ECONOMIC EFFICIENCY

Ivan Petkov, Nikolay Tonchev, Valentin Gaidarov
tontchev@gmail.com

*Todor Kableshkov Higher School of Transport,
1574 Sofia, 158 Geo Milev Str.,
BULGARIA*

Key words: *element of transport system, size optimization, economic efficiency*

Summary: *According to data from a Russian experiment and modern SAE (Computer Aided Engineering) calculations, our methodology has been applied in order to establish the geometric shape and dimensions of an optimal element of a transport system. It is optimized in terms of both operational and economic indicators. Research is inherently an innovation for the implementation of? the influence of the geometric dimensions of the product on the SAE indicators and their operational efficiency. When operational efficiency is achieved through several alternatives, an economic analysis of the solution is made. In this sense, the study can be classified in the group of studies with applied operational and economic efficiency.*