



# ИЗБОР НА ОПТИМАЛЕН СТРУКТУРЕН ВАРИАНТ НА СИСТЕМА ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА ФАСАДНИ ПАНЕЛИ

Велизар Захаринов, Иво Малаков

**Резюме:** В настоящата статия е разгледан изборът на оптимален структурен вариант на система за изработване на овални прорези в ръба на плочи от естествен камък или керамика. Разгледани са основни изисквания към фасадните облицовки, изградени от фасадни панели от естествен камък, и е изложена постановката на задачата. Формулирани са ограничителни условия и критерии за оценка, отчитащи изискванията на конкретен възложител. Разработена е функционална структура на системата и са разработени варианти изпълняващи отделните частични функции. Построен е мрежов модел, описващ връзките между устройствата изпълняващи отделните частични функции, и е построен математически модел на задачата. Направен е анализ на получените резултати.

**Ключови думи:** проектиране, оптимален структурен вариант, производствена система, фасадни облицовки, естествен камък.

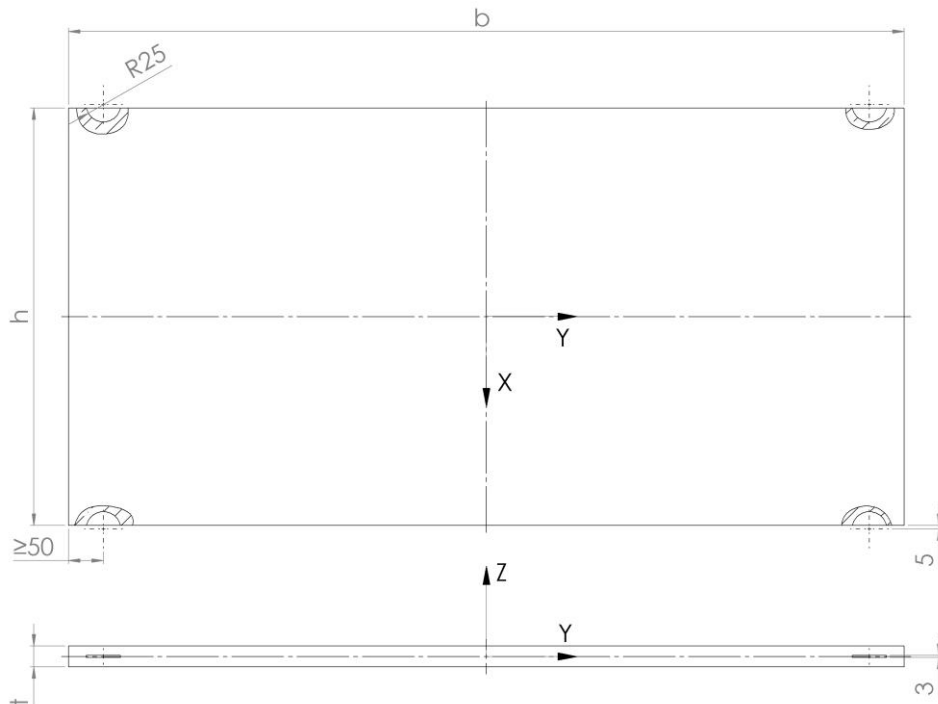
## 1. Въведение

Фасадният панел е елемент влизащ в състава на фасадната облицовка на сграда. Към последната се предявява набор от изисквания, като: защита от атмосферни влияния на стената, към която облицовката е монтирана, устойчивост на температурни промени и промени във влажността, естетичен външен вид и др. [BTI 1.5, 2012], [EN 1469].

Обикновено, когато се говори за фасадни панели, се има предвид елементи влизащи в състава на конкретен вид фасадна облицовка, а именно вентилируема фасадна облицовка. Вентилируемите фасадни облицовки са вид фасадни облицовки, при които чрез подходяща носеща конструкция, между стената и облицовката се постига въздушна междина, която е от порядъка на 0,2 до 2 m.

Особен вид вентилируема фасадна облицовка е тази, при чието изграждане се използват фасадни панели от естествен камък. Поради хетерогенността и анизотропността на естествения камък като материал, при нея е от особено значение начина на закрепване на фасадния панел към носещата конструкция. Един възможен начин за закрепване е чрез овални прорези в ръба на фасадните панели от естествен камък.

На Фиг. 1 е показан фасаден панел от естествен камък и изискваното разположение и размери на овалните прорези.



**Фиг. 1. Фасаден панел от естествен камък с изработени овални прорези**

Възможни са различни комбинации на размерите  $b$ ,  $h$  и  $t$  като за конкретната машина са заложили следните стойности:  $b_{\max} = 1500 \text{ mm}$ ,  $h_{\max} = 900 \text{ mm}$ ,  $t_{\max} = 50 \text{ mm}$ . Те са определени съгласно изискванията на възложителя.

Допустимите отклонения на дължината и ширината на фасадните панели са дадени в Таблица 1. Опитно установени от предприятията, занимаващи се с естествен камък, стойности показват, че отношението между страните на плочите не трябва да надхвърля 1:2 [ВТИ 1.5 2012].

**Таблица 1. Изисквания към дължината и ширината на фасадните панели**

Номинален размер на дължината или ширината, mm	< 600	$\geq 600$
Дебелина на плочата $\leq 50 \text{ mm}$	$\pm 1 \text{ mm}$	$\pm 1,5 \text{ mm}$
Дебелина на плочата $> 50 \text{ mm}$	$\pm 2 \text{ mm}$	$\pm 3 \text{ mm}$

Целта на доклада е да представи резултатите от разработването на система за производство на фасадни панели от естествен камък с изработени овални прорези и изборът на оптимален структурен вариант за нея.

## 2. Решаване на задачата

Последователността на решаваната задача е съгласно подхода, разгледан в [Малаков, 2009], [Захаринев, 2014].



### 2.1. Ограничителни условия

Ограничителните условия са определени според изискванията към системата, както следва: заемана площ не повече от 100 m<sup>2</sup> и маса не повече от 3300 kg. Условието за площ произлиза от ограничения в производствената площ, а условието за масата на системата произлиза от възможност за по-лесно транспортиране.

### 2.2. Избор на критерии

С отчитане на изискванията на възложителя са избрани четири частни критерия за оценка на алтернативните структурни варианти: цена на разработваната система, лв.; технологична себестойност на 100 единици продукт (фасадни панели), лв./100 дет.; коефициент на готовност и време за пренастройка, min. Към първия, втория и четвъртия критерий се предявява търсене на минимална стойност, а към третия – намиране на максимум за разработените алтернативни структурни варианти.

### 2.3. Функционална структура на машината за прорези

Общата функция на системата е изработването на прорези с овална форма в ръба на фасадни панели от естествен камък с необходимата производителност от 180 дет./h и качество. Отделните работни операции, за постигане на тази обща функция, се разглеждат като една частична функция на системата. Общата функция на проектираната монтажна система включва следните частични функции  $TF_n$ ,  $n = 1 \div 8$ :

- $TF_1$ , настройка положението на овалните прорези по ос Y;
- $TF_2$ , настройка положението на овалните прорези по ос Z;
- $TF_3$ , захранване с плоча от естествен камък;
- $TF_4$ , транспортиране на плоча;
- $TF_5$ , базиране и фиксиране на плоча;
- $TF_6$ , подаващо движение по ос X;
- $TF_7$ , изработване на прорези;
- $TF_8$ , отвеждане на готовите фасадни панели.

### 2.4. Варианти, изпълняващи частичните функции на системата

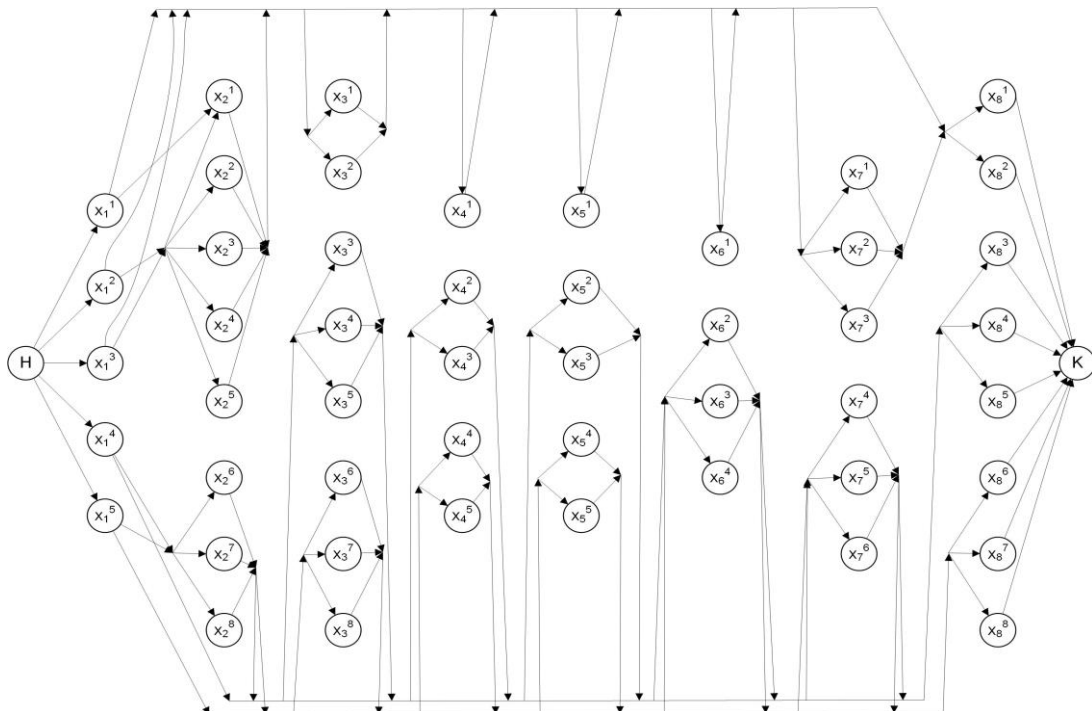
Разработени са варианти  $x_n^l$ ,  $n = 1 \div 8$ ,  $l \in L_n$ , за изпълнение на всяка частична функция  $TF_n$ . Принципни схеми на част от елементарните устройства  $x_n^l$ , при изпълнение на частичните им функции  $TF_n$ , са показани в Таблица 2. Означението „бх“ показва, че елементарното устройство се състои от два броя от устройството след означението.

Таблица 2. Принципни схеми на елементарните устройства (откъс)

	$TF_1$	$TF_2$	$TF_3$
1	 6x	 12x	 6x
2	 6x	 12x	 6x
3	 6x	 12x	 2x

### 2.5. Мрежов модел на системата за прорези

Множеството от възможните структурни варианти  $X$ , които изпълняват общата функция на системата за прорези, е представено под формата на мрежов модел на Фиг. 2.



Фиг. 2. Мрежов модел на множеството от структурни варианти на системата за прорези



## 2.6. Построяване на математически модел на задачата

Възлага се решаването на следната задача:

При зададено множество на възможните структурни варианти на машината за изработване на прорези с овална форма в ръба на фасадни панели от естествен камък, да се определи оптималния структурен вариант, така че:

$$\min P(x) = \sum_{n=1}^8 P(x_n^l), \quad \min TC(x) = \sum_{n=1}^8 TC(x_n^l), \quad \max K_r(x) = \sum_{n=1}^8 K_r(x_n^l),$$
$$\min T_{ad}(x) = \sum_{n=1}^8 T_{ad}(x_n^l)$$

удовлетворяващ ограниченията:

$$S(x) = \sum_{n=1}^8 S(x_n^l) \leq 100 \text{ m}^2, \quad M(x) = \sum_{n=1}^8 M(x_n^l) \leq 3300 \text{ kg}$$

където:  $x \in X$ ;  $n = 1 \div 8$ ;  $|L_1| = 5$ ,  $|L_2| = 8$ ,  $|L_3| = 8$ ,  $|L_4| = 5$ ,  $|L_5| = 5$ ,  $|L_6| = 4$ ,  $|L_7| = 6$ ,  $|L_8| = 8$ ;  $P(x)$  - цена, лв.;  $TC(x)$  - технологична себестойност, лв./100 дет.;  $K_r(x)$  - коефициент на готовност;  $T_{ad}(x)$  - време за пренастройка, min;  $S(x)$  - площ,  $\text{m}^2$ ;  $M(x)$  - маса, kg.

## 2.7. Решения на задачата

Разглежданата задача е многокритериална оптимизационна задача с наличие на ограничителни условия и ограничения в съвместимостта между елементарните устройства. Общият брой на възможните структурни варианти на проектираната система е 2 076. За определяне границите на изменение на целевите функции са решени 32 еднокритериални оптимизационни задачи, а за намиране на едно решение на многокритериалната задача е нужно решаването на 4 многокритериални оптимизационни задачи.

Решаването на задачата е извършено с помощта на диалоговата система PolyOptimizer [Malakov & Zaharinov, 2012]. Чрез нея са намерени шест решения. Те са анализирани като анализът и намерените решения са предоставени на клиента за окончателно взимане на решение. Две от решенията са показани в Таблица 3 и 4.

Взимайки предвид получените резултати и инвестиционните цели на предприятието избраният от клиента вариант за внедряване е Решение 3 (Таблица 4).

## 3. Изводи

Разгледани са функциите на фасадните облицовки и някои техни характерни особености. На тяхна основа и с отчитане на изискванията и ограниченията на предприятието възложител са избрани критерии за оценка на структурните варианти на система за изработване на овални прорези в ръба на плочи от естествен камък или керамика. Разработена е функционална структура на проектираната система: определена е общата ѝ функция, декомпозирана е на осем частични функции и са определени елементарни устройства за

изпълнението им. На тази основа е построен мрежов модел описващ възможните връзки между елементарните устройства с отчитане на тяхната съвместимост. Построен е математически модел. Задачата е решена при пълно изследване на множеството от структурни варианти.

Таблица 3. Решение 2

<i>Структурен вариант <math>x_2^*</math></i>				
$x_2^* = \{x_1^5; x_2^6; x_3^6; x_4^4; x_5^5; x_6^2; x_7^4; x_8^6\}$				
<i>№</i>	<i>Целева функция</i>	<i>Стойност</i>	<i>Отклонение от оптимума за целевата функция</i>	<i>Граници на изменение</i>
<i>1</i>	$P(x)$ , лв.	49 678	$w_1 = 0,2883$	$15\,384 \leq P(x) \leq 134\,331$
<i>2</i>	$TC(x)$ , лв./100 дет.	30,96	$w_2 = 0,0319$	$29,17 \leq TC(x) \leq 85,28$
<i>3</i>	$K_{гп}(x)$	-0,067	$w_3 = 0,1061$	$-0,126 \leq K_{гп}(x) \leq -0,060$
<i>4</i>	$T_{ад}(x)$ , min	162	$w_4 = 0,5897$	$35,5 \leq T_{ад}(x) \leq 250$
<i>№</i>	<i>Ограничителни условия</i>	<i>Стойност</i>	<i>Условие</i>	<i>Интервална граница</i>
<i>1</i>	$S(x)$ , m <sup>2</sup>	54,74	$\leq$	100
<i>2</i>	$M(x)$ , kg	1072	$\leq$	3 300

**Таблица 4. Решение 3**

<b>Структурен вариант <math>x_3^*</math></b>				
$x_3^* = \{x_1^1; x_2^1; x_3^1; x_4^1; x_5^1; x_6^1; x_7^1; x_8^1\}$				
<b>№</b>	<b>Целева функция</b>	<b>Стойност</b>	<b>Отклонение от оптимума за целевата функция</b>	<b>Граници на изменение</b>
<b>1</b>	$P(x)$ , лв.	15 384	$w_1 = 0$	$15\,384 \leq P(x) \leq 134\,331$
<b>2</b>	$TC(x)$ , лв./100 дет.	65,84	$w_2 = 0,6535$	$29,17 \leq TC(x) \leq 85,28$
<b>3</b>	$K_{III}(x)$	-0,060	$w_3 = 0$	$-0,126 \leq K_{III}(x) \leq -0,060$
<b>4</b>	$T_{ad}(x)$ , min	35,5	$w_4 = 0$	$35,5 \leq T_{ad}(x) \leq 250$
<b>№</b>	<b>Ограничителни условия</b>	<b>Стойност</b>	<b>Условие</b>	<b>Интервална граница</b>
<b>1</b>	$S(x)$ , m <sup>2</sup>	71,15	$\leq$	100
<b>2</b>	$M(x)$ , kg	560	$\leq$	3 300

Намерените решения са предложени на възложителя заедно с направения анализ. На експертен съвет са обсъдени алтернативните варианти и е избрано решение, което отговаря най-пълно на целите и ограниченията на възложителя.

Избраният вариант е проектиран и внедрен в производствения процес на възложителя. В резултат на експлоатацията е потвърдена правилността на избора и ефективността на предложеното решение.



**Литература:**

1. ВТИ 1.5 (2012) Fassadenbekleidung. DNV.
2. EN 1469 (2004) Natural stone products. Slabs for cladding. Requirements
3. Малаков, И. Методология за избор на оптимален структурен вариант на автоматизирани системи за монтаж. Хабилизационен труд за получаване на научното звание „професор”, София, 2009.
4. Захаринов, В. Диалогова система за многокритериална оптимизация при проектиране на технически средства за автоматизация на дискретното производство. Дисертация за получаване на образователна и научна степен „доктор”. ТУ-София, 2014.
5. Malakov, I. & Zaharinov, V. (2012) Interactive Software System for Multicriteria Choosing of the Structural Variant of Complex Technical Systems, Annals of DAAAM for 2012 & Proceedings of the 23rd International DAAAM Symposium, ISBN 978-3-901509-91-9, ISSN 2304-1382, pp 0199 - 0204, Editor B. Katalinic, Published by DAAAM International, Vienna, Austria.

**CHOOSING OF OPTIMAL STRUCTURAL VARIANT OF A FAÇADE  
PANEL MANUFACTURING SYSTEM**

**Velizar Zaharinov, Ivo Malakov**

***Abstract:** The paper discusses the choice of optimal structural variant of a system for the manufacturing of ceramic or natural stone façade panels with oval edge kerfs. An overview is made of the main requirements regarding natural stone claddings and a formulation of the problem is laid out. Constraints and evaluation criteria are set. A functional structure of the system is developed and variants are proposed for realization of the different partial functions. The relations between the devices realizing the different partial functions are presented graphically through an oriented graph and a mathematical model of the problem is built. An analysis of the obtained results is made.*

**Данни за авторите:**

Велизар Велизаров Захаринов, гл. асистент доктор инж., катедра „АДП” при МФ, Технически Университет – София, Р. България, София, бул. “Кл. Охридски” № 8, тел.: 965 37 63, e-mail: [vzaharinov@tu-sofia.bg](mailto:vzaharinov@tu-sofia.bg)

Иво Кръстев Малаков, професор доктор инж., катедра „АДП” при МФ, Технически Университет – София, Р. България, София, бул. “Кл. Охридски” № 8, тел.: 965 37 00, e-mail: [ikm@tu-sofia.bg](mailto:ikm@tu-sofia.bg)