

# ПРОГРАМЕН АЛГОРИТЪМ ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА НОСЕЩА СПОСОБНОСТ ПО НОРМАЛНИ СЕЧЕНИЯ

Радослав Орлинов<sup>1</sup>, Цанко Колев<sup>2</sup>

*Ключови думи:* носеща способност по нормални сечения, интеракционни диаграми, програмен алгоритъм

*Научна област:* Стоманобетонни конструкции

## РЕЗЮМЕ

Авторите представят програмен алгоритъм за определяне на носещата способност на стоманобетонни и комбинирани стомано-стоманобетонни напречни сечения. Алгоритъмът предоставя възможност за изчисляване на произволни по форма напречни сечения, конструирани с произволна армировка и изцяло вбетониран стоманен профил. Въведена е концепцията за *базово сечение*, позволяваща бързо и удобно въвеждане на симетрично спрямо двете главни оси правоъгълно напречно сечение, масово използвано в практиката. Методиките на изчисление се основават на тези регламентирани в Еврокод 2 за стоманобетонни и в Еврокод 4 за комбинирани напречни сечения. За всяка стойност на височината на натисковата зона  $x$  се извършва директно интегриране на функцията на напреженията спрямо контура на зададеното напречно сечение. Така се определя носимоспособността на натиск и на огъване на изследваното напречно сечението.

### 1. Обща информация

Определянето на носимоспособността на напречните сечения на стоманобетонни и комбинирани стомано-стоманобетонни колони е практически проблем пред всеки строителен инженер. Целта на предложения програмен алгоритъм е да даде възможност за определяне на носещата способност на стоманобетонни напречни сечения с произволна форма, конструирани с произволна надлъжна армировка и на стомано-стоманобетонни напречни сечения с изцяло вбетониран стоманен профил.

Алгоритъмът е разработен в програмната среда на Wolfram Mathematica[1] и е свободно достъпен. Използваният програмен език дава възможност за достъп до готови математически функции, като например интегриране и диференциране. По този

---

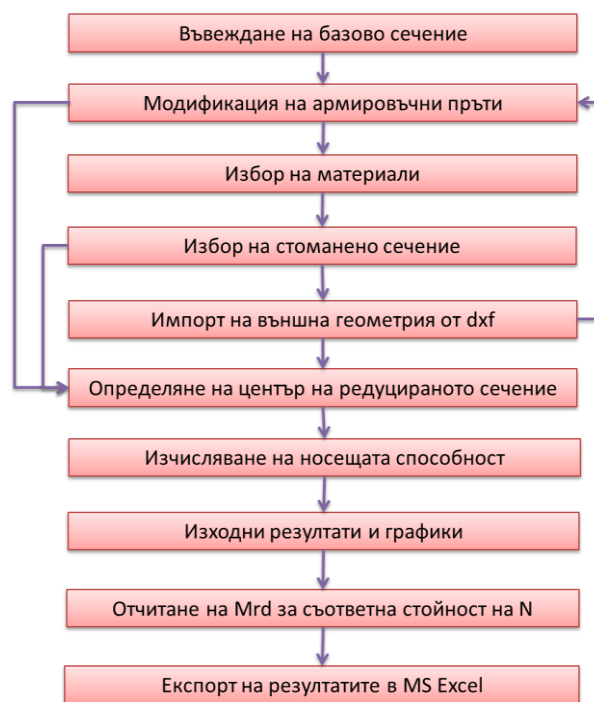
<sup>1</sup> Радослав Орлинов, ас.д-р инж., кат. „Масивни конструкции”, УАСГ, orlinov\_fce@uacg.bg

<sup>2</sup> Цанко Колев, инж., кат. „Масивни конструкции”, УАСГ, outlook@abv.bg

начин усилията на програмиста се насочват към архитектурния дизайн на алгоритъма. Това се нарича програмиране на „високо ниво“.

## 2. Базово сечение

На фиг.1 е показана блок схема на принципната работа на програмния алгоритъм. Концепцията заложена в програмната архитектура е работата с програмата да бъде логична и интуитивна за потребителя. След въвеждане на геометричните характеристики на напречното сечение и избор на материалите следва изчисление и изходни резултати. Възможно е потребителят да се върне, да промени някои зададени стойности и да извърши следващо решение.



Фиг. 1. Блок схема на програмния алгоритъм

Първата стъпка е въвеждане на *базово сечение*. Под *базово сечение* се разбира правоъгълно стоманобетонно напречно сечение със симетрично разположени армировъчни пръти. Въвеждането на такова сечение става чрез дефинирането на няколко параметъра. Армировъчните пръти условно се разделят в две симетрично разположени крайни зони и една средна зона. Прътите в крайните зони започват да се разполагат на равни разстояния от горния контур на бетонното сечение, а прътите в средната зона – от средата на напречното сечение. Следвайки този принцип потребителят може да зададе необходимия брой пръти в усилените зони на стоманобетонна стена и да допълни стеблото с пръти през равни разстояния. На фиг.2 и фиг.3 са показани примерни параметри за въвеждане на няколко *базови сечения*.

## Стена с уширения

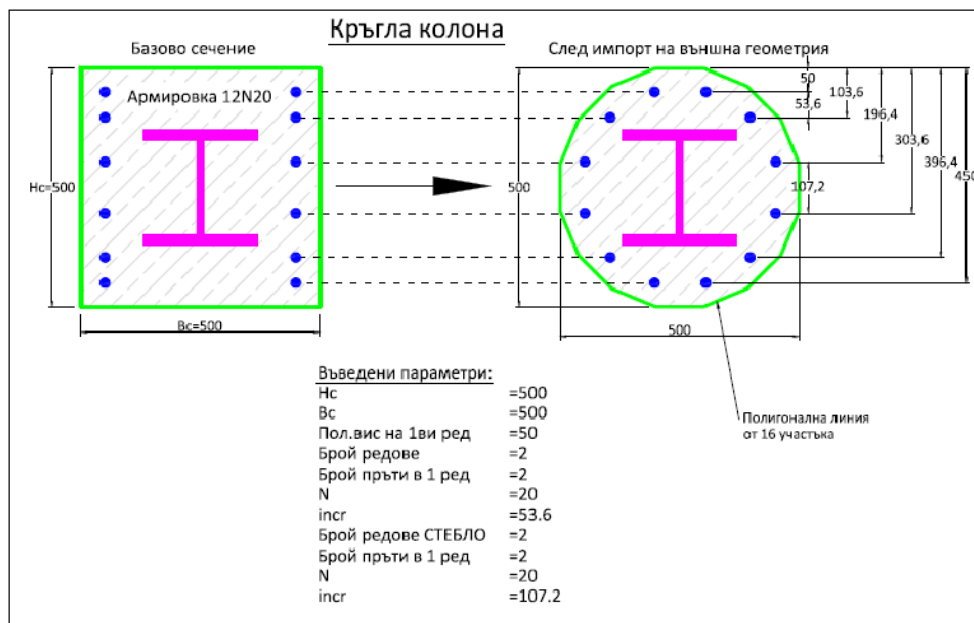


Фиг. 2. Примерни параметри за въвеждане на базово сечение за стена

*Базовото сечение* дава възможност за бързо въвеждане на симетрично спрямо двете главни оси напречно сечение, което е особено полезно при изчисляване на стоманобетонни стени. В този практически случай проектантът трябва да извърши няколко итерации до определянето на броя и местоположението на армировъчните пръти в усилените зони и стеблото. Използването на *базово сечение* спестява усилията за коригиране на полезната височина на армировката при всяка промяна.

*Базовото сечение* служи за основа при въвеждане на елементи с произволни по форма напречни сечения. На фиг.2 и фиг.3 е показан начина на преобразуване съответно на стоманобетонна стена с правоъгълно напречно сечение в стоманобетонна стена със сложно по форма напречно сечение и на комбинирана стоманостоманобетонна колона с квадратно напречно сечение в комбинирана стоманостоманобетонна колона с кръгло напречно сечение.

След въвеждане на *базовото сечение* армировъчните пръти са условно групирани в две усиленни зони и зона на стебло. Чрез съответно меню на потребителя се дава възможност да промени параметрите на всеки ред от армировката. Параметрите, които може да се променят, са броят на прътите, тяхната площ и полезната им височина. Така например на фиг.2 е показано как броят на част от прътите от усилената зона на стената е увеличен от два на три. Чрез въвеждането на тази функция се дава възможност за прецизно изчисляване на стоманобетонното напречно сечение.



Фиг. 3. Примерни параметри за въвеждане на базово сечение за кръгла колона

### 3. Избор на материали

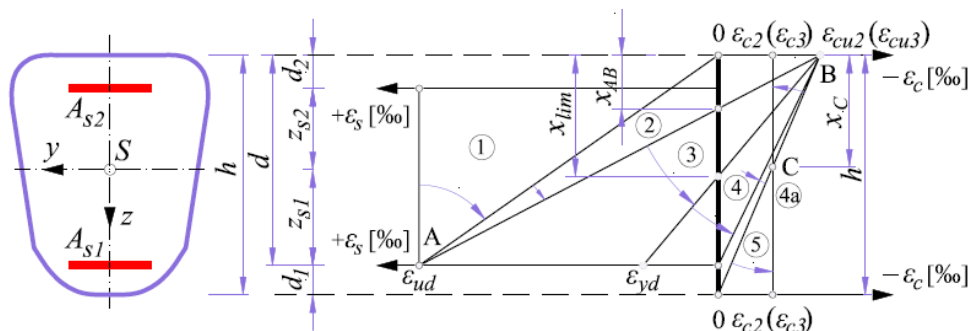
Програмният алгоритъм дава възможност за използване на всички класове бетон, дефинирани в Еврокод 2[2]. Въведени са класове бетон от C12/15 до C90/105 с характеристики съгласно таблица 3.1 на Еврокод 2. Потребителят може да използва армировъчна стомана с класове B500 и B420, с модул на еластичност  $E_s=200\text{GPa}$ . Въведените класове конструкционна стомана са S235, S275 и S355, с модул на еластичност  $E_a=210\text{GPa}$ .

Предоставена е възможност за изчисляване на комбинирани стомано-стоманобетонни колони с изцяло вбетонирани стоманени сечения. Може да се избират сечения на стандартизираните горещо-валцувани стоманени профили НЕВ, тъй като те са едни от най-използваните за тези цели.

### 4. Характеристики на напречното сечение

Следващата стъпка от процеса на работа е автоматичното изчисляване на центъра на редуцираното напречно сечение. За целта армировъчната и конструкционната стомана се привеждат към еквивалентни на бетона със съответните си модули на еластичност. По този начин равнодействащите усилия ще се изчислят за центъра на редуцираното напречно сечение, в случай че сечението има несиметрична форма.

Заложен е принципът на изчисление по нормални сечения съгласно Еврокод. За дадено положение на нулевата линия, определящо височината на натисковата зона, се изчисляват деформациите в сечението съгласно „правилото на трите точки“ – фиг.4. Спрямо графиката на деформациите се определят конкретните стойности на напреженията от работните диаграми на бетона, армировъчната и конструкционната стомана.



Фиг. 4. Области на напрегнато и деформирано състояние

Потребителят има възможност да избира една от следните работни диаграми на бетона:

- Правоъгълна, съгласно методиката дадена в Еврокод 4[3];
- Правоъгълна, съгласно методиката дадена в Еврокод 2 – фиг. 3.5 от Еврокод 2;
- Билинейна – фиг. 3.4 от Еврокод 2;
- Параболично-праволинейна – фиг. 3.3 от Еврокод 2;

Правоъгълната работна диаграма на бетона, разпростираща се до нулевата линия, регламентирана в Еврокод 4[3] се използва само при изчисляване на комбинирани стомано-стоманобетонни колони с изцяло вбетонирано стоманено сечение. Използването на тази работна диаграма за стоманобетонно напречно сечение ще доведе до некоректно завишена носимоспособност. За армировъчната и конструкционната стомана са приети идеализирани (билинейни) работни диаграми с хоризонтален клон, зависещи от избраните якостни характеристики.

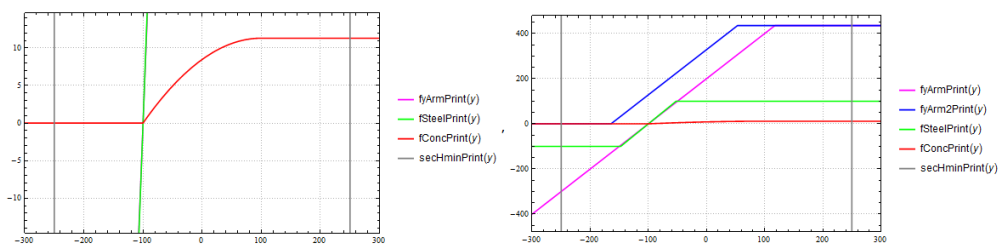
## 5. Изчисляване

На фиг.5 са показани примерни работни диаграми, съответно параболично – праволинейна диаграма на бетона и билинейни диаграми на армировъчната и на конструкционната стомана, за конкретна стойност на височината на натисквата зона. За всяка стойност на височината на натисквата зона  $x$  се извършва директно интегриране на функцията на напрежения спрямо контура на зададеното напречно сечение. Така на всяка стъпка от изчислението се извършват три решения на интегрални в най-общия им вид – за бетона, армировката и стоманения профил. По този начин могат да се изчисляват произволни напречни сечения. Нормалната сила и огъващия момент са равни на:

$$N = \int f(y) dA; \quad (1)$$

$$M = N * l = \int f(y) dA \frac{\int yf(y) dA}{\int f(y) dA} = \int yf(y) dA; \quad (2)$$

Където  $f(y)$  е функцията на напреженията зададена в общ вид, а  $A$  е площта на съответното сечение.



**Фиг. 5.** Примерни работни диаграми за конкретна стойност на натисквата зона. На бетона (в ляво) и на стоманата (в дясно)

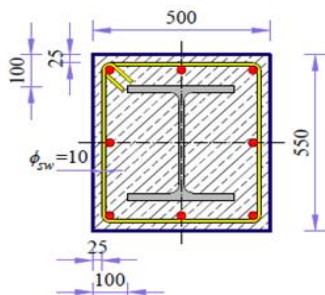
Концепцията на програмния алгоритъм е да се представят функции на работните диаграми на материалите и директно с тях да се интегрира зададеното напречно сечение. Не се прибягва до идеализиране, а точно обратното – представяне в най-общ вид. По този начин се дава възможност за изчисляване на произволни напречни сечения.

Процесът на изчисление може да трае до няколко минути в зависимост от сложността на контура на напречното сечение, използваната работна диаграма на бетона и наличието на стоманен профил. Програмният алгоритъм генерира графиките на носеща способност (интеракционни диаграми) на армировъчната стомана, стоманения профил и бетонното сечение в зависимост „огъващ момент – нормална сила“. Предоставена е възможност за определяне на носимоспособността на огъване  $M_{Rd}$  за зададена от потребителя стойност на нормалната сила  $N_{Ed}$ .

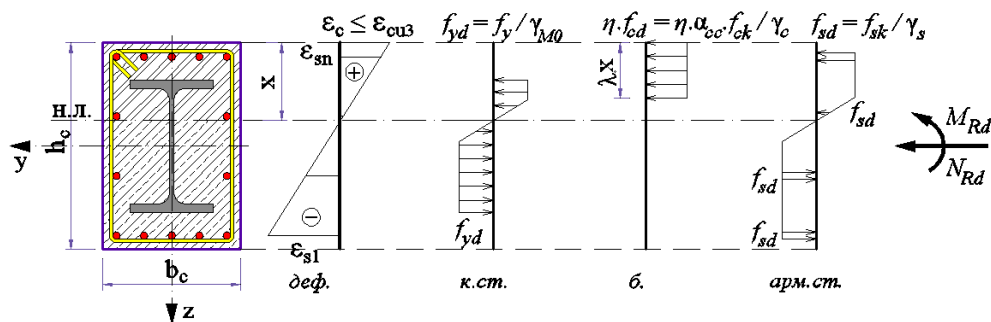
Координатите на графиките на носимоспособност могат да се експортират във формат за MS Excel. По този начин се дава възможност на потребителя да промени изгледа на представяните резултати без да се ограничава от работната среда на програмния алгоритъм.

## 6. Числени примери

Изследвана е комбинирана стомано-стоманобетонна колона с изцяло вбетонирано стоманено сечение с размери 50/55cm, конструирана с 8N25 и изцяло вбетониран стоманен профил НЕВ360 - фиг.6. Използвана е армировъчна стомана клас B500 и конструкционна стомана клас S235. На фиг.7 са показани работните диаграми на бетона, армировъчната и конструкционната стомана. Използвани са билинейни зависимости за стоманата и правоъгълна диаграма за бетона съгласно Еврокод 2.

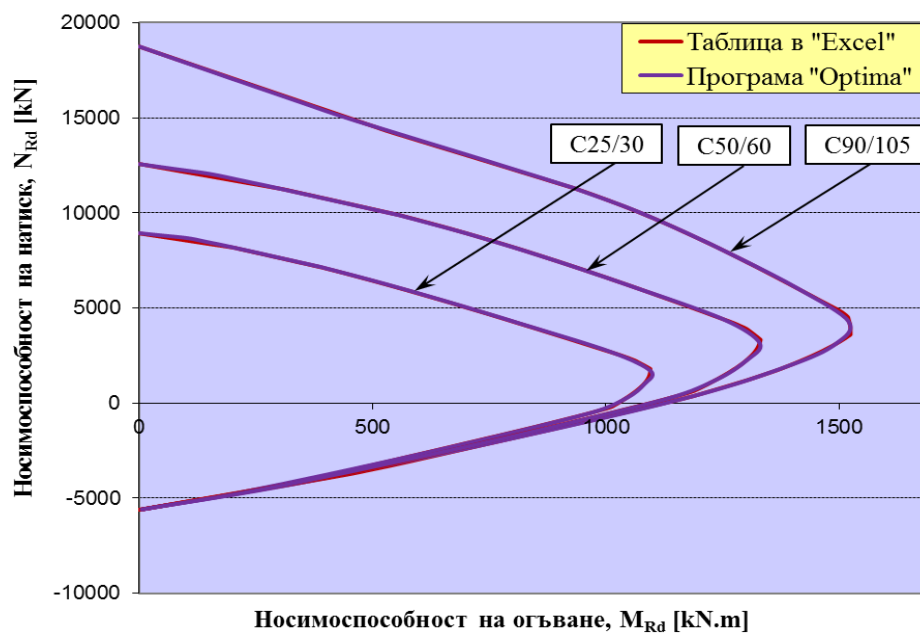


**Фиг. 6.** Изследвано напречно сечение



Фиг. 7. Примерно сечение на колона и съответни работни диаграми.

На фиг.8 са показани графики на носеща способност на изследваното напречно сечение спрямо ос Y, при различни класове бетон. Извършено е решение с представения програмнен алгоритъм и е сравнено с такова, извършено чрез разработена електронна таблица в MS Excel. Забелязват се минимални разлики между двете графики, което се дължи на гъстотата на точките, с които са получени.



Фиг. 8. Сравнение на криви на носеща способност между програмния алгоритъм и ръчни изчисления

## 7. Заключение

Представеният програмнен алгоритъм се отличава с бърза и удобна работа при въвеждане на симетрично спрямо двете главни оси правоъгълно напречно сечение благодарение на въвеждането на концепцията с базово сечение. Програмата дава възможност за изчисляване на произволни по форма напречни сечения, конструирани

с произволна армировка и изцяло вбетониран стоманен профил. Опцията за въвеждане на произволна геометрия покрива всички практически случаи на напречни сечения. Алгоритъмът за изчисление е създаден на основата на директно интегриране.

Програмният алгоритъм е изготвен на основата на „отворен код“ и подлежи на постоянно усъвършенстване. Той е свободно достъпен от интернет пространството.

Бъдещото развитие на програмния алгоритъм може да бъде насочено към изчисляване на стоманобетонни напречни сечения с предварително напрегната армировка или капацитивно изчисление на стоманобетонни стени.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Wolfram Mathematica, 2016
2. БДС EN 1992, 2007
3. БДС EN 1994, 2007

## ALGORITHM FOR DETERMINING THE BENDING CAPACITY OF RC SECTIONS

Radoslav Orlinov<sup>3</sup>, Tsanko Kolev<sup>4</sup>

**Keywords:** *bending capacity, interaction curves, program algorithm*

**Research area:** *Reinforced concrete structures*

## ABSTRACT

The authors present a program algorithm for determining the bending capacity of reinforced concrete sections and concrete encased steel sections. The algorithm is capable of calculating the interaction curves of arbitrary in geometry reinforced concrete sections. An option is implemented for calculating composite sections as well. The methodology of calculation procedures is based on Eurocode 2 and Eurocode 4. The algorithm is calculating the capacity through direct integration of the section using various stress-strain functions.

---

<sup>3</sup> Radoslav Orlinov, Department Reinforced concrete structures, UACEG, orlinov\_fce@uacg.bg

<sup>4</sup> Tsanko Kolev, Department Reinforced concrete structures, UACEG, outlook@abv.bg