

МЯСТО НА ПРИЛАГАНЕ НА ТОВАРИТЕ ВЪРХУ ЦИЛИНДРИЧНО ТЯЛО - ВЛИЯЕ ЛИ ТО НА РАЗПРЕДЕЛЕНИЕТО НА НОРМАЛНИТЕ НАПРЕЖЕНИЯ В НЕГО

Любомир А. Здравков¹

PLACE OF LOAD'S APPLICATION ON THE CYLINDRICAL BODY – DOES IT HAVE AN INFLUENCE ON DISTRIBUTION OF NORMAL STRESSES WITHIN IT.

Lyubomir A. Zdravkov

Abstract:

For analysing of distribution of stresses and deformations in the steel cylindrical silos is very often used finite element analysis. Vertical load by the stored product could be applied on the upper edge of the cylindrical shell or on its internal surface. The first approach facilitates the load's application and accounting of the results. The second method of modelling is closer to the reality. Naturally, the two ways of loading will show the different results but how big will be the difference? Big or negligible? For the purpose of the research, two steel cylindrical shells on the six supports are modelled. They are axially loaded on the upper edge or on the internal surface. One shell is ideal, and the other has imperfections, symmetrically entered to the vertical axis.

Researches are conducted using following methods for analysis:

- a) LA – linear (elastic) material and small deflections;*
- b) MNA – non-linear material and small deflections;*
- c) GNA – large deflections of the elements and elastic material.*

Keywords:

steel silo, loading, meridional normal stresses, imperfections, effective height

1. ВЪВЕДЕНИЕ

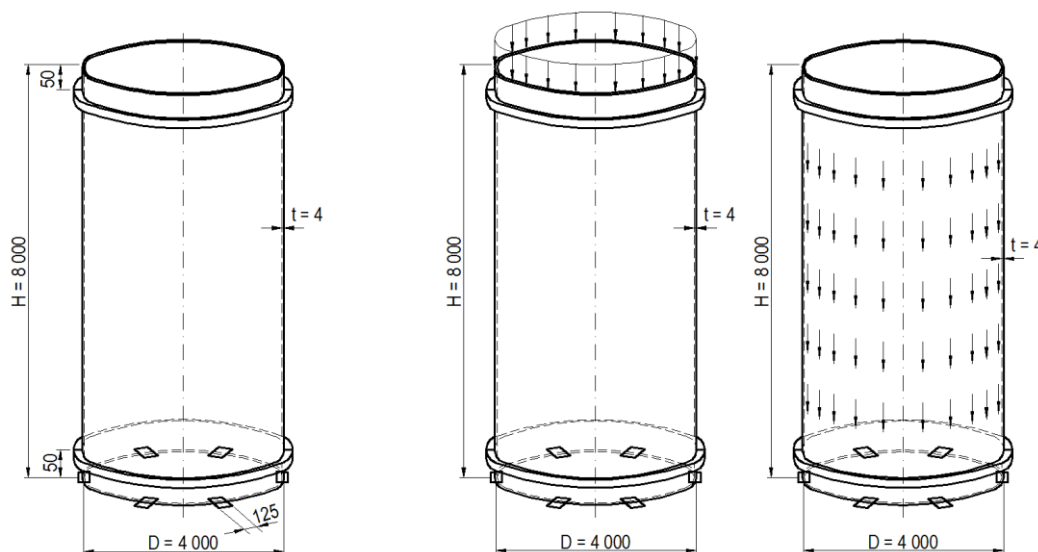
Стоманените силози са съоръжения, които са изследвани и продължават да бъдат изучавани от голям брой учени. Особен интерес представлява взаимодействието между отделните (дискретните) прътови колони и тънкостенната стоманена черупка над тях. За анализ на напрегнатото и деформирано състояние в общите им възли, много често се използват числени компютърни модели. Които колкото по-подробни са, толкова по - достоверни ще бъдат резултатите. Предвид големият брой получаващи се крайни елементи, което е свързано с необходимостта от голяма изчислителна мощ на компютрите и време за решаване, често в моделите се правят известни опростявания. Например, чрез

¹ Любомир А. Здравков, доц. д-р инж., УАСГ, София 1046, бул. „Христо Смирненски“ №1, корпус «Б», ет. 7, каб. 733, e-mail: zdravkov_fce@uacg.bg

отчитане на симетричността на съоръженията и натоварването по тях, се разглежда само част от съоръженията. Също така, често вертикалните товари от съхраняван продукт се прилагат към горния ръб на цилиндричната черупка [1, 3, 7, 8-13]. От друга страна, осовото въздействие от съхранявания продукт е разпределен по повърхност товар, дължащ се на силата на триене, и е приложен по вътрешната повърхност на цилиндричното тяло. Изхождайки от тази предпоставка, в свое изследване [14] авторът е симулирал вертикалното натоварване от продукт като разпределен товар. Но това е довело до известно затруднение при отчитане на резултатите в числените модели. И тук възниква въпросът, можем ли в името на бързината и удобството, да прилагаме вертикалните товари от продукт към горния ръб на цилиндричната черупка? Или следва да ги симулираме като разпределени по вътрешната повърхност товари, със стойности по височина, определени по EN 1991-4:2006 [4]? Очевидно е, че ще има разлики в получените резултати, но ще бъдат ли те големи?

2. ЧИСЛЕН МОДЕЛ

За целта на изследването, чрез програмен продукт ANSYS [2] е моделирано стоманено цилиндрично тяло, с диаметър $D = 4\,000$ mm, височина $H = 8\,000$ mm и дебелина по цялата височина $t = 4$ mm, виж **фиг. 1а**. Цилиндърът е „стъпил“ върху шест опори, с размери в план 125×125 mm. С цел укрепване на цилиндъра в радиално направление, на 50 mm над долния ръб и на 50 mm под горния му ръб са поставени пръстени със сечение L100x8 mm, заварени на „перо“. Всички елементи са от стомана S235, с механични показатели, съгласно стандарт EN 10025-2:2004 [6].



а) размери

б) начини на натоварване

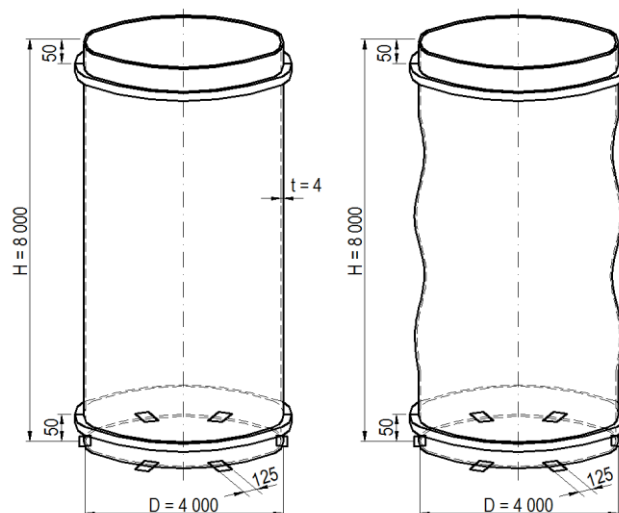
Фигура 1. Числен модел - размери и начини на натоварване

Елементите в числените модели са въведени като черупки (shell181), с техните реални дебелини. Максималният размер на крайните елементи е 50 mm.

Натоварването е прилагано по два начина - в горния ръб на стоманената черупка и площно, като равномерно разпределен товар по вътрешната ѝ повърхност. Товарът действа осово, отгоре - надолу, и неговата равнодействаща е със стойност 800 kN.

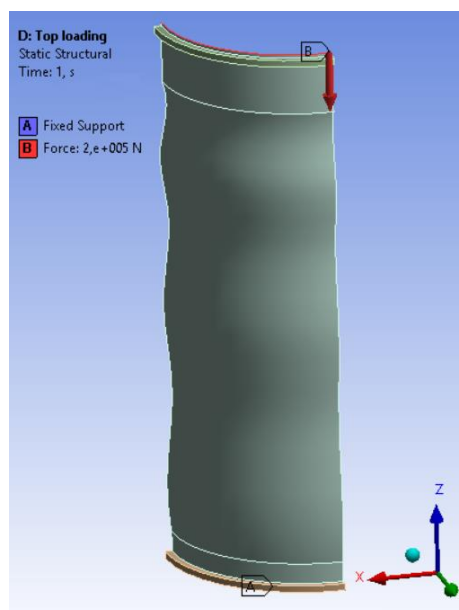
За да се отчете влиянието на несъвършенствата в цилиндричното тяло, е създаден втори числен модел, в който произволно са въведени симетрични спрямо вертикалната ос изпъкналости и вдлъбнатини, с максимално радиално отклонение ± 50 mm, виж **фиг. 2**.

Радиалните отклонения тенденциозно имат много големи стойности, за да се подчертае тяхното влияние.



Фигура 2. Изследвани черупки - идеална и такава с несъвършенства

За облекчаване на изчисленията е използвана опцията “symmetry” в ANSYS. Тя позволява да се изследва само част от конструкции, имащи ос на симетрия и симетрично натоварване, виж [фиг. 3](#).



Фигура 3. Натоварване по част от симетричната черупка с несъвършенства

Двата посочени по - горе числени модела (с идеална черупка и с несъвършенства), при които товарите са приложени по горен ръб на черупката или по вътрешната ѝ повърхност, са изследвани при използване на следните методи за анализ:

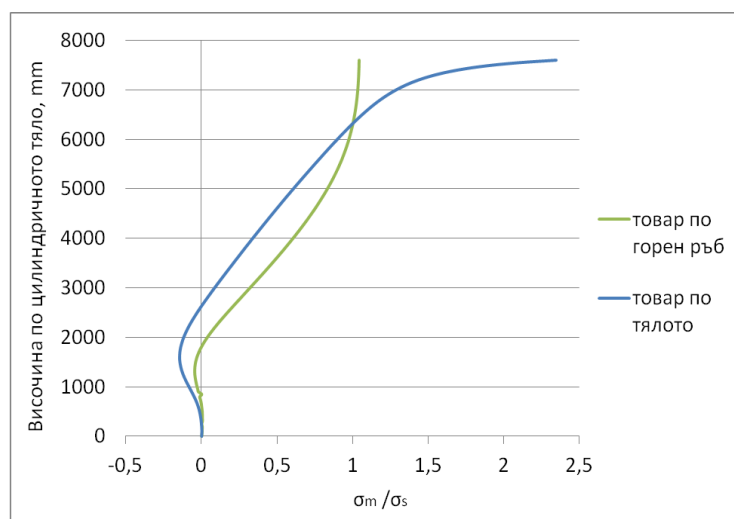
- LA - линеен (еластичен) материал и малки премествания, виж EN 1993-1-6 [5];
- б) MNA - нелинеен материал и малки премествания;
- в) GNA – с отчитане на големи премествания на елементите и еластичен материал.

За идеалната черупка допълнително е използван и GMNA – нелинеен материал и отчитане на големи премествания.

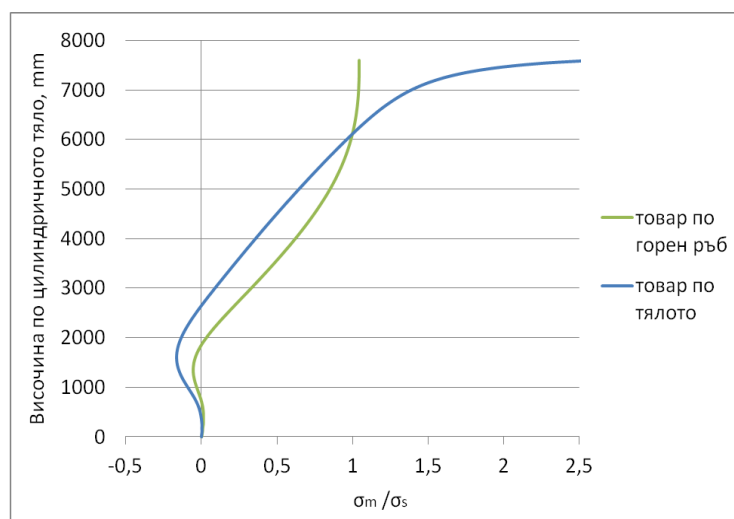
В разглежданите модели са отчитани по височина меридианните (осовите). От тяхното отношение σ_m/σ_s може да се определи къде те се изравняват, т.е. къде е краят на активната зона по височина H_{cr} .

3. РЕЗУЛТАТИ

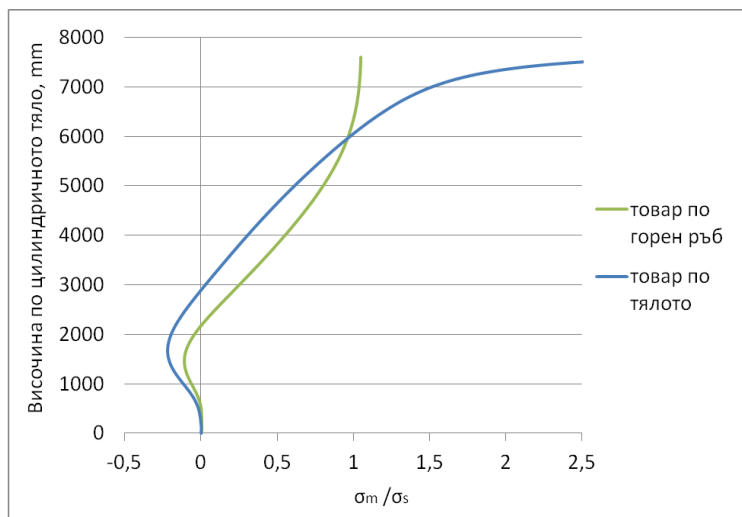
На [фиг. 4](#) и [фиг. 5](#) могат да се видят резултатите от направеното изследване.



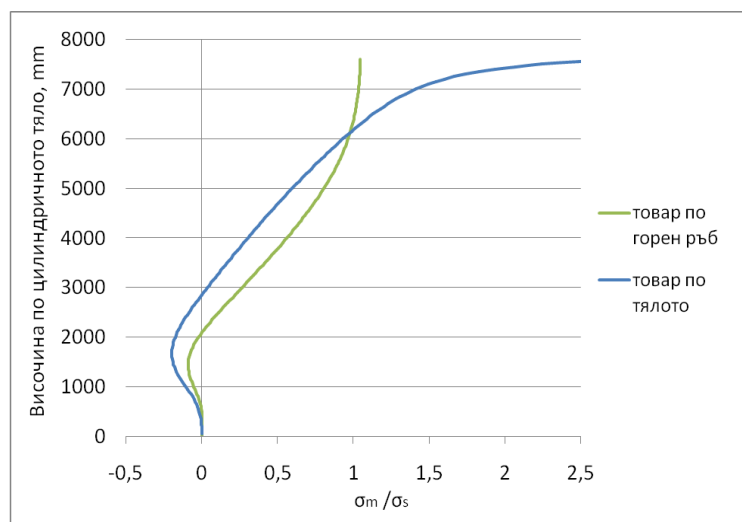
а) LA - линеен (еластичен) материал и малки премествания



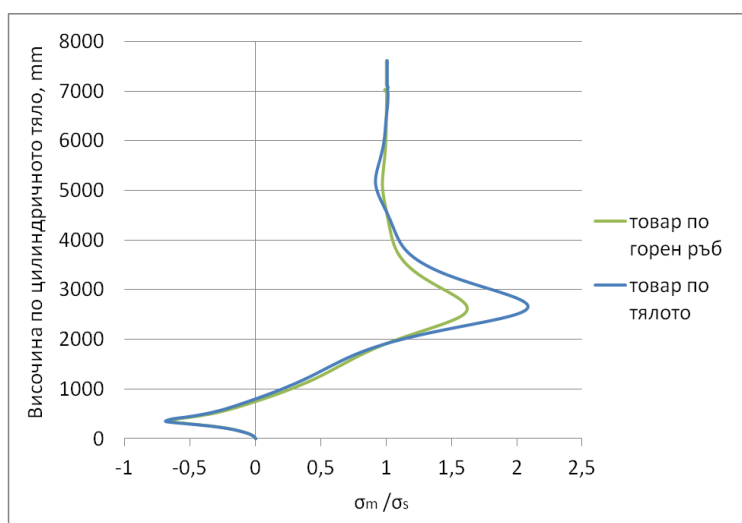
б) MNA - нелинеен материал и малки премествания



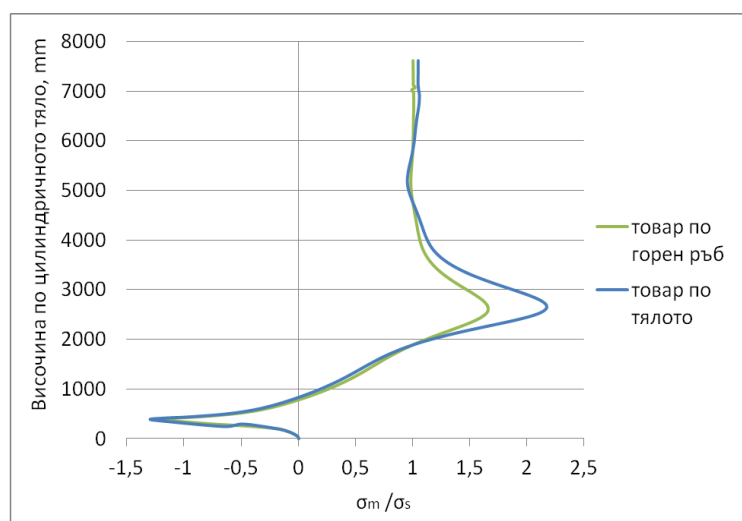
в) GNA – с отчитане на големи премествания на елементите и еластичен материал



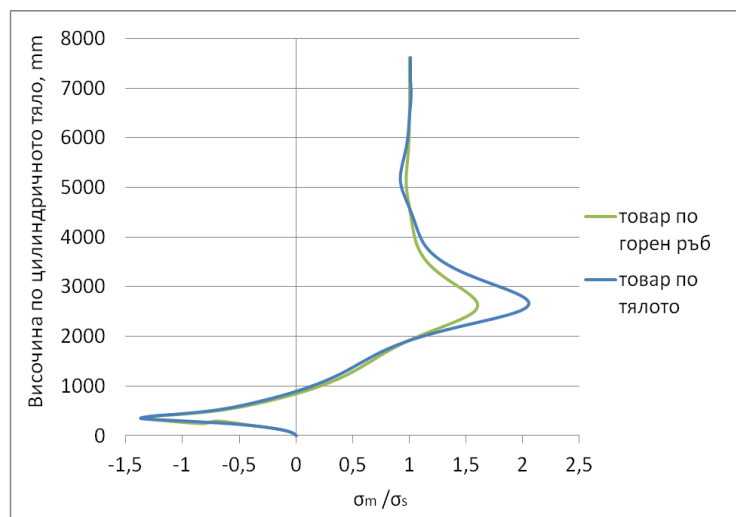
г) GMNA – с отчитане на големи премествания на елементите и нелинеен материал.
Фигура 4. Отношение на напреженията σ_m/σ_s в идеална черупка



а) LA - линеен (еластичен) материал и малки премествания



б) MNA - нелинеен материал и малки премествания

в) GNA – с отчитане на големи премествания на елементите и еластичен материал
Фигура 5. Отношение на напреженията σ_m/σ_s в черупка с несъвършенства

От графиките на **фиг. 4** и **фиг. 5** могат да се направят следните изводи:

а) мястото на прилагане на товарите по цилиндричното тяло не променя височината, където нормалните напрежения над опорите σ_m и в средата между тях σ_s изравняват своите стойности;

б) мястото на прилагане на товарите оказва влияние върху стойностите на отношението на нормалните напрежения σ_m/σ_s , но не променя видът на диаграмите;

в) включването на материална или геометрична нелинейност в анализа, оказва своето влияние, например повишава стойностите на отношението σ_m/σ_s в черупка с несъвършенства, но отново без да променя вида на диаграмите;

г) най – съществено влияние върху разпределението на меридианните напрежения по височина оказват несъвършенствата;

д) при осови натискови товари по цилиндричното тяло, в средата между опорите се отчитат опънни меридианни напрежения.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Най – близкото до реалността моделиране на строителни конструкции е предпоставка за най – достоверни резултати. Това обаче е свързано с необходимост от голяма изчислителна мощ на използваните компютри, дълго време за изчисление и/или затруднено отчитане на резултатите. Затова се правят известни опростявания, но те не трябва да влошават качеството на изследването. В разглеждания тук случай по – лесното и по – бързото прилагане на вертикалните товари по горния ръб на цилиндричната черупка не влияе върху определянето на височината на критичната зона. Но се наблюдава разлика в стойностите на отношението на нормалните напрежения σ_m/σ_s , без да се променя видът на диаграмите. Тук много по – съществено влияние оказват несъвършенствата на стоманената черупка. Които, за съжаление, имат произволен характер и не могат лесно и бързо да бъдат въведени в етапа на проектиране.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторът изказва своите благодарности към Центъра за научно изследване и проектиране към УАСГ за осигуреното финансиране по проект Д-107/18.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Здравков Л. А., Влияние на междинните пръстени и на височината на „полата“ върху ефективната широчина на натисковата зона във възела колона - цилиндрично тяло на стоманен силос, Международна юбилейна научна конференция "75 години УАСГ", София, 2017.
- [2] ANSYS, Inc., Canonsburg, Pennsylvania, the U.S.A.
- [3] Doerich C., Vanlaere W., Lagae G., Rotter J. M., Stability of column - supported steel cylinders with engaged columns, Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium, Valencia, 2009.
- [4] EN 1991-4:2006, Eurocode 1 - Actions on structures - Part 4: Silos and tanks, European committee for standardization, Brussels, 2006.
- [5] EN 1993-1-6:2007, Eurocode 3 - Design of steel structures - Part 1-6: Strength and Stability of Shell Structures. European Committee for Standardization, Brussels, 2007.
- [6] EN 10025-2:2004, Hot rolled products of structural steels - Part 2: Technical delivery conditions for non-alloy structural steels. European Committee for Standardization, Brussels, 2004.
- [7] Sonat C., Topkaya C., Rotter J. M., Buckling of cylindrical metal shells on discretely supported ring beams, Thin - Walled structures, Vol. 93, 22-35, 2015.
- [8] Topkaya C., Rotter J. M., Ring beam stiffness criterion for column supported metal silos, ASCE Journal of Engineering Mechanics, Vol. 134, 846-853, 2011.
- [9] Topkaya C., Rotter J. M., Stiffness of Silo Supporting Ring Beams Resting on Discrete Supports, 6th International Conference on Thin-Walled Structures, Timisoara, Romania, 2011.
- [10] Topkaya C., Rotter J. M., Ideal location of intermediate ring stiffeners on discretely supported cylindrical shells, Journal of Engineering Mechanics, Vol. 140, 2014.
- [11] Vanlaere W., Doerich C., Lagae G., Impe R., Steel cylinders on local supports with rigid stiffeners, Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium, Valencia, 2009.
- [12] Zeybek Ö., Topkaya C., Rotter J. M., Strength and stiffness requirements for intermediate ring stiffeners on discretely cylindrical shells, Thin - Walled structures, Vol. 96, 64-74, 2015.

- [13] Zeybek Ö., Topkaya C., Rotter J.M., Requirements for intermediate ring stiffeners placed below the ideal location on discretely supported shells, *Thin - Walled structures*, Vol. 115, 21-33, 2017.
- [14] Zdravkov L. A., Influencing factors on effective width of compressed zone in joint column - cylindrical shell of steel silo, *Challenge journal of structural mechanics*, Vol. 4 (1) (2018) 1-8.