

ИЗПОЛЗВАНЕ НА ОБЩИЯ МЕТОД ЗА ОПРЕДЕЛЯНЕ НА НОСЕЩАТА СПОСОБНОСТ НА РЕБРЕСТО - ПРЪСТЕНОВИДНИ КУПОЛИ НА КРЪГЛА ОСНОВА ПРИ РАЗЛИЧНО УКРЕПЯВАНЕ

Любомир Здравков¹

Университет по Архитектура, Строителство и Геодезия

USING OF GENERAL METHOD FOR DETERMINING BEARING CAPACITY OF DOMES WITH RADIAL GIRDERS AND CIRCULAR ELEMENTS ON CIRCULAR BASE, WITH DIFFERENT STIFFENING

Lyubomir Zdravkov

University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy

***Abstract:** When a building structure is spatial (3D), all elements work together. They influence and support each other. On that situation is very difficult to determine who is supporting and who is supported member. It is impossible to calculate directly their effective lengths. These lengths are used in classic equations of standards to check elements for loss of stability. On that reason is reasonably to use General method, described in European standard EN 1993-1-1. This method is convenient to use, but unfortunately it could not be used without good computer skills and specialised structural software possessing Buckling Analysis module.*

***Key words:** General method, loss of stability, joints, braces*

Когато строителната конструкция е пространствена, всички елементи в нея са натоварени заедно и едновременно. Те взаимно си влияят и се подпират един друг. В този случай е много трудно да бъде определено кой елемент е подпрян и кой е подпиращ. Невъзможно е да бъде определено в явен вид тяхната ефективна изкълчвателна дължина, а тя се използва в класическите уравнения на стандартите при проверка за загуба на устойчивост. В този аспект е разумно да бъде използван Общият метод, описан в европейския стандарт EN 1993-1-1 [1]. Този метод е удобен за ползване, но за съжаление не може да бъде прилаган без добри компютърни умения и подходящ конструктивен софтуер, имащ модул за изследване на загубата на устойчивост.

1. Общ метод за проверка на нецентрично натиснати конструктивни елементи за загуба на обща устойчивост. Основни принципи.

Общата носимоспособност при загуба на устойчивост извън равнината на конструктивен елемент, отговарящ на обхвата на Общия метод, може да бъде проверена по формулата:

$$(1.1) \quad \frac{\chi_{op} \cdot \alpha_{ult,k}}{\gamma_{M1}} \geq 1,0$$

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

където:

$\alpha_{ult,k}$ е параметър за минимално увеличаване на изчислителните товари за достигане на характеристичната носимоспособност на критичното напречно сечение на конструктивния елемент. Разглежда само неговото поведение в равнината му, без отчитане на изкълчване извън равнината му или измятане;

χ_{op} - редукиционен коефициент за условна стройност $\bar{\lambda}_{op}$, отчитащ изкълчване извън равнината или измятане;

γ_{M1} - коефициент на сигурност при загуба на устойчивост.

Параметърът $\alpha_{ult,k}$ за най-малкото нарастване на изчислителните товари за достигане на характеристична носимоспособност в еластичен стадий, се определя чрез израза:

$$(1.2) \quad \alpha_{ult,k} \cdot \left(\frac{M_{y,Ed}}{W_{el,y}} + \frac{N_{Ed}}{A} \right) = f_y$$

Общата условна стройност $\bar{\lambda}_{op}$ на конструктивен елемент, следва да бъде определена по формулата:

$$(1.3) \quad \bar{\lambda}_{op} = \sqrt{\frac{\alpha_{ult,k}}{\alpha_{cr,op}}}$$

където:

$\alpha_{cr,op}$ е параметър за минимално увеличаване на изчислителните товари в равнината им за достигане на критичната носимоспособност на конструктивния елемент в еластичен стадий при изкълчване извън равнината или измятане, без да се отчита изкълчването в равнината на огъване.

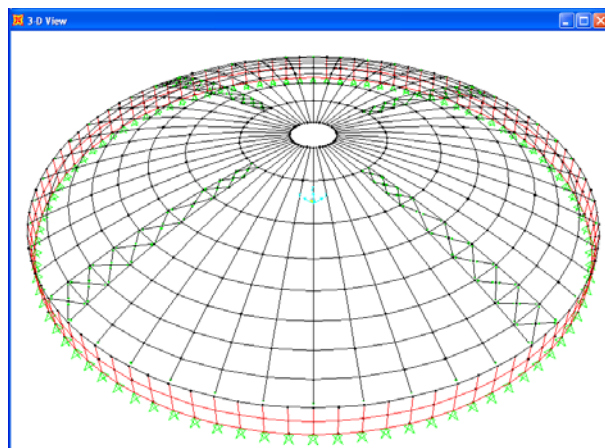
2. Изчислителен модел на покривната конструкция. Определяне на усилията в елементите и запаса на носеща способност.

Чрез използване на програмния продукт SAP 2000 v.14.2 [2] са създадени множество тримерни модели на ребресто-пръстеновидни куполи. В тях радиалните греди и пръстеновидните елементи са дефинирани като прътови (frame) елементи, с техните реални геометрични характеристики и материали. Тъй като покривните листове не са свързани към носещата конструкция, за по-достовърни резултати те не са включени в изчислителните модели.

В средата на купола е оформен централен опорен пръстен, който обединява всички радиални греди. Те са свързани кораво към него. В мястото на снаждане на покрива към корпуса е оформен горен опорен пръстен. Връзката на радиалните греди към него е ставна.

Предаването на товарите от обшивката към конструкцията е симулирано чрез използване на товарни площи. Всички товари са равномерно разпределени по цялата площ на куполите. Ексцентрично разполагане на снега не е отчитано.

За отчитане на хоризонталното преместване на опорите на ребресто-пръстеновидния купол, в пространствения модел допълнително са включени горния опорен пръстен и част от последния пояс на корпуса, виж **Фиг. 1**.



Фиг. 1. Пространствен изчислителен модел на покривите

В програмата SAP 2000 е използвана опцията за проверка за загуба на устойчивост. Чрез нея е възможно да се отчете запаса на носеща способност, преди отделен елемент или цялата конструкция да загубят устойчивост. Решението е линейно, но с отчитане на деформациите в конструкцията на покрива.

3. Изследване

В настоящото изследване са анализирани няколко самоносещи сферични покриви на резервоари, които са построени и се намират в експлоатация. В Табл. 1. са показани основните им геометрични размери, брой радиални и пръстеновидни елементи, и натоварване.

Таблица 1. Изследвани ребресто - пръстеновидни куполи, покриви на резервоари

Купол	T-105	Litv.	T-253	Treb.	T-113	Merc.	T-111	T-5
Обем V , m^3	5 000	7 000	10 000	15 000	25 000	32 000	40 000	62 000
Диаметър D , m	22,8	23,8	28,5	33	41,5	40,37	52,5	60
рад. греди, бр.	32	32	36	44	52	56	72	84
пръстени, бр.	5	5	5	6	8	7	8	5
сняг S , kPa	1,5	2,0	1,2	1	1,2	1,2	1,2	1
вакуум p_v , kPa	0,5	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,25
обшивка, kPa	0,392	0,392	0,392	0,392	0,392	0,471	0,392	0,392

Сферичните ребресто - пръстеновидни куполи са изследвани за следните конструктивни решения:

Решение №1

- възлите между радиалните греди и пръстеновидните елементи са корави;
- между елементите на покривната конструкция не са поставени стабилизиращи връзки.

Решение №2

- възлите между радиалните греди и пръстеновидните елементи са корави;
- между елементите на покривната конструкция са поставени 4-и стабилизиращи връзки.

Те са развити в радиално направление, през 90° в план, виж Фиг. 2. - а).

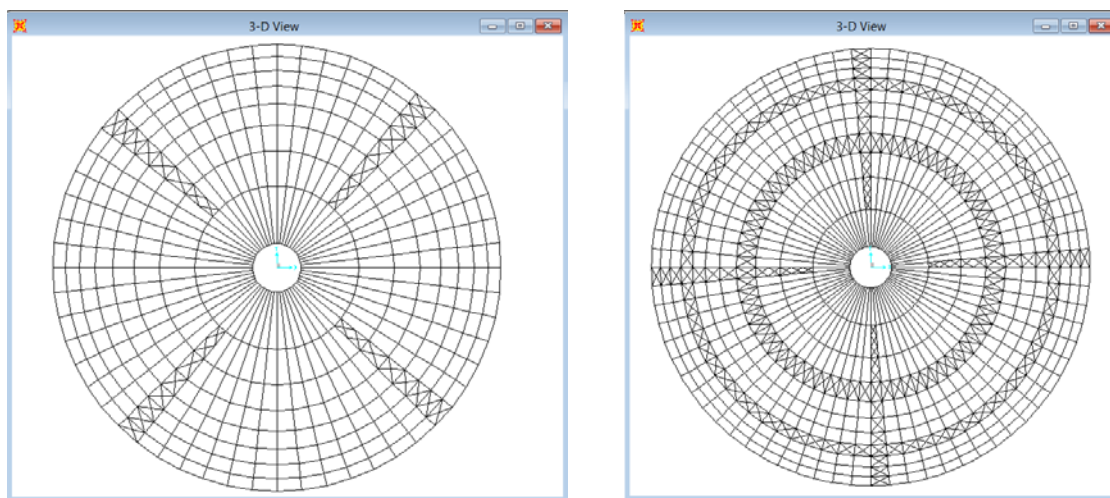
Решение №3

- възлите между радиалните греди и пръстеновидните елементи са ставни;
- между елементите на покривната конструкция са поставени 4-и стабилизиращи връзки.

Те са развити в радиално направление, през 90° в план.

Решение №4

- а) възлите между радиалните греди и пръстеновидните елементи са ставни;
- б) между елементите на покривната конструкция са поставени стабилизиращи връзки. Те са развити в радиално направление и пръстеновидно направление, виж **Фиг. 2. - б).**



а) в радиално направление

б) в радиално и пръстеновидно направление

Фиг. 2. Разполагане на стабилизиращите връзки

4. Резултати от проведеното изследване

4.1. Покрив на резервоар Т-105, V = 5 000 m³, D = 22 800 mm

Радиалните греди са със сечение IPE 160, S235. Те удовлетворяват проверката за монтажено състояние при статическа схема проста гредка и товар $Q_m = 0,3 \text{ kN/m}^2$.

Констр. решение	$\alpha_{ult,k}$	K	$\alpha_{cr,op}$	λ_{op}	χ_{op}	σ_{pr} kN/cm ²	стабилност
Решение №1	1,84	1,1294	0,86	1,463	0,356	35,86	НЕ
Решение №2	1,949	2,339	1,781	1,046	0,633	19,04	ДА
Решение №3	2,055	0,3347	0,255	2,84	0,1151	99,41	НЕ
Решение №4	2,099	0,9459	0,72	1,671	0,309	37,87	НЕ

4.2. Покрив на резервоар Litv., V = 7 000 m³, D = 23 800 mm

Радиалните греди са със сечение IPE 180, S235. Те удовлетворяват проверката за монтажено състояние при статическа схема проста гредка и товар $Q_m = 0,3 \text{ kN/m}^2$.

Констр. решение	$\alpha_{ult,k}$	K	$\alpha_{cr,op}$	λ_{op}	χ_{op}	σ_{pr} kN/cm ²	стабилност
Решение №1	1,339	2,8091	1,904	0,839	0,773	22,71	НЕ
Решение №2	1,308	4,6802	3,172	0,642	0,873	20,57	ДА
Решение №3	1,326	0,4266	0,289	2,141	0,1853	95,64	НЕ
Решение №4	1,308	1,6248	1,101	1,09	0,6031	29,8	НЕ

4.3. Покрив на резервоар Т-253, V = 10 000 m³, D = 28 500 mm

Радиалните греди са със сечение IPE 220, S235. Те удовлетворяват проверката за монтажено състояние при статическа схема проста гредка и товар $Q_m = 0,3 \text{ kN/m}^2$.

Констр. решение	$\alpha_{ult,k}$	K	$\alpha_{cr,op}$	λ_{op}	χ_{op}	σ_{pr} kN/cm ²	стабилност
Решение №1	3,16	3,6161	2,462	1,132	0,516	14,42	ДА
Решение №2	3,152	5,9764	4,069	0,88	0,674	11,06	ДА
Решение №3	3,164	4,058	2,763	1,07	0,616	12,05	ДА
Решение №4	SAP 2000 не намира форми на загуба на устойчивост на покрива						

4.4. Покрив на резервоар Треб., $V = 15\ 000\ m^3$, $D = 33\ 000\ mm$

Радиалните греди са със сечение IPE 220, S235. Те удовлетворяват проверката за монтажност при статическа схема проста греда и товар $Q_m = 0,3\ kN/m^2$.

Констр. решение	$\alpha_{ult,k}$	K	$\alpha_{cr,op}$	λ_{op}	χ_{op}	σ_{pr} kN/cm ²	стабилност
Решение №1	3,743	3,401	2,321	1,27	0,488	12,88	ДА
Решение №2	3,742	5,5436	3,783	0,995	0,669	9,38	ДА
Решение №3	3,762	1,7859	1,219	1,757	0,263	23,77	НЕ
Решение №4	3,716	2,705	1,846	1,419	0,4089	15,47	ДА

4.5. Покрив на резервоар Т-113, $V = 25\ 000\ m^3$, $D = 41\ 500\ mm$

Радиалните греди са със сечение IPE 240, S235. Те удовлетворяват проверката за монтажност при товар $Q_m = 0,3\ kN/m^2$, но ако има междинно подпиране.

Констр. решение	$\alpha_{ult,k}$	K	$\alpha_{cr,op}$	λ_{op}	χ_{op}	σ_{pr} kN/cm ²	стабилност
Решение №1	2,234	1,7909	1,219	1,354	0,441	23,84	НЕ
Решение №2	2,225	2,3126	1,574	1,189	0,537	19,66	ДА
Решение №3	2,224	1,1074	0,754	1,718	0,273	38,67	НЕ
Решение №4	2,221	1,2179	0,829	1,637	0,32	33,04	НЕ

4.6. Покрив на резервоар Мерс., $V = 32\ 000\ m^3$, $D = 40\ 370\ mm$

Радиалните греди са със сечение IPE 240, S235. Те удовлетворяват проверката за монтажност при товар $Q_m = 0,3\ kN/m^2$, но ако има междинно подпиране.

Констр. решение	$\alpha_{ult,k}$	K	$\alpha_{cr,op}$	λ_{op}	χ_{op}	σ_{pr} kN/cm ²	стабилност
Решение №1	2,378	1,7909	1,222	1,395	0,4203	23,51	НЕ
Решение №2	2,381	2,7218	1,857	1,132	0,574	17,19	ДА
Решение №3	2,384	0,7894	0,539	2,104	0,1913	51,53	НЕ
Решение №4	2,366	1,305	0,89	1,63	0,298	33,28	НЕ

4.7. Покрив на резервоар Т-111, $V = 40\ 000\ m^3$, $D = 52\ 500\ mm$

Радиалните греди са със сечение IPE 300, S235. Те удовлетворяват проверката за монтажност при товар $Q_m = 0,3\ kN/m^2$, но ако има междинно подпиране.

Констр. решение	$\alpha_{ult,k}$	K	$\alpha_{cr,op}$	λ_{op}	χ_{op}	σ_{pr} kN/cm ²	стабилност
Решение №1	3,568	1,819	1,238	1,719	0,294	21,88	ДА
Решение №2	3,657	2,6404	1,798	1,426	0,405	15,86	ДА
Решение №3	3,666	0,4396	0,299	3,5	0,0743	86,29	НЕ
Решение №4	3,65	0,5469	0,372	3,131	0,0917	70,19	НЕ

4.8. Покрив на резервоар Т-5, $V = 62\ 000\ m^3$, $D = 60\ 000\ mm$

Радиалните греди са със сечение IPE 330, S275. Те удовлетворяват проверката за монтажност при статическа схема проста греда и товар $Q_m = 0,3\ kN/m^2$.

Констр. решение	$\alpha_{ult,k}$	K	$\alpha_{cr,op}$	λ_{op}	χ_{op}	σ_{pr} kN/cm ²	стабилност
Решение №1	2,424	1,4387	1,002	1,555	0,323	35,16	НЕ
Решение №2	2,415	2,057	1,433	1,298	0,471	24,16	ДА
Решение №3	2,444	0,4239	0,295	2,877	0,1076	104,62	НЕ
Решение №4	2,436	0,6482	0,452	2,323	0,1599	70,61	НЕ

5. Изследване на куполите за сеизмично въздействие

В допълнение към направеното по - горе изследване на куполите за обща загуба на устойчивост, беше анализирано и тяхното поведение при земетръс. Условието са:

- а) коефициент на хоризонтално сеизмично ускорение $a_g = 0,23$;
- б) почва - категория „С” ;
- в) коефициент на поведение - $q = 1,5$;
- г) отчитани са хоризонталната и вертикалната компонента на сеизмичното въздействие;
- д) при сеизмична изчислителна ситуация, снегът по покрива е 30% от номиналната си стойност;
- е) резервоарите са изпразнени от продукт, т.е. няма хидродинамични ефекти от образували се в течността вълни;
- ж) покривната конструкция отговаря на посочената в **Решение №2**, т.е. възлите са корави и има поставени радиални стабилизиращи връзки.

Като резултат от проведеното изследване може да се посочи, че сеизмичното въздействие не е меродавно товарно състояние за самоносещи сферични покриви, когато резервоарите са празни.

Изводи

От изследването на тримерните компютърни модели на ребресто - пръстеновидни куполи могат да бъдат направени следните изводи:

- а) коравите възли между радиалните ребра и пръстеновидните елементи са много по - подходящо конструктивно решение, отколкото ставна връзка между елементите и стабилизиращи връзки;
- б) в някои случаи коравите възли между елементите на покривната конструкция могат напълно да елиминират нуждата от поставяне на допълнителни стабилизиращи връзки;
- в) удовлетворяването на проверката на радиалните греди за монтажно състояние съществено повишава вероятността сферичния купол да не загуби обща устойчивост по време на експлоатация.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] EN 1993-1-1:2005, Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings.
- [2] SAP 2000 v.14.2. Structural analysis program. Computers and Structures, Inc.