

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА УСИЛИЯТА И ОРАЗМЕРЯВАНЕ НА МЕЖДИННИ ВЕТРОУПОРНИ ПРЪСТЕНИ В СТОМАНЕНИ ЦИЛИНДРИЧНИ ВЕРТИКАЛНИ РЕЗЕРВОАРИ

инж. Любомир Здравков
сп. „Строителство”, кн. 4, 2002 г

The feature wants to offer methods for design of intermediate wind girders. They ensure tank's shell against loss of stability in radial direction. These stiffening rings are inevitable, because the tank's capacities expand continuously.

I haven't met in the world's standards any methods for design of intermediate wind girders, only technical requirements. This feature is the first step to solve the problem.

При резервоари с по-големи обеми, възниква необходимост да се поставят междинни укрепващи пръстени. Те дават възможност да се намалят дебелините на горните пояси в резервоара при обезпечена устойчивост в радиално направление и геометрическа неизменяемост на формата на стената.

1. Брой и разположение на междинните укрепващи пръстени

Максималната височина на незакоравената стена, която няма да загуби устойчивост в радиално направление, според [2] , се определя по следната формула:

$$H_1 = 9,47 \cdot t \cdot \sqrt{\left(\frac{t}{D}\right)^3}, \text{ където:}$$

H_1 – максималната височина на неукрепената по височина стена, m

t – дебелина на най-горния пояс на резервоара, mm

D – номинален диаметър на резервоара, m

Тази формула е съставена за скорост на вятъра 160 км/ч. За стойности различни от 160 км/ч (44,44 м/с) стойностите на H_1 се редуцират с коефициент K_v , определен по формулата:

$$k_v = \left(\frac{160}{v_w}\right)^2, \text{ където:}$$

v_w – действителната скорост на вятъра за съответния ветрови район, км/ч.

Тогава за H_1 се получава израза:

$$H_1 = 9,47 \cdot t \cdot K_v \cdot \sqrt{\left(\frac{t}{D}\right)^3}$$

Със следното уравнение се променя действителната височина H_1 на всеки пояс от стената до друга, редуцирана височина, имаща дебелина на листовите еднаква с тази на най-горния (най-тънкия) пояс:

$$H_{ir} = H_i \cdot \sqrt{\left(\frac{t_{\min}}{t_i}\right)^5}, \text{ където:}$$

H_{ir} – редуцирана височина на i – ти пояс в стената с дебелина t_i ;

H_i – реална височина на i – ти пояс в стената с дебелина t_i ;

t_{\min} – дебелина на стената на резервоара в най – горния пояс ;

t_i – текуща дебелина на резервоара в i – ти пояс в стената .

Трансформираната височина на стената на резервоара H_r се определя по формулата:

$$H_r = \sum_{i=1}^n H_{ir}$$

Ако така изчислената височина H_1 се окаже по - голяма или равна на H_r , то междинен укрепващ пръстен не е необходим. Ако се получи, че височината H_1 е по-малко от трансформираната височина на резервоара H_r , може да се подходи по два начина:

а) увеличават се дебелините на поясите t_i , за да се повиши H_1 ;

б) поставя се междинен ветроупорен пръстен, оразмерен за приспадащото му се ветрово натоварване.

За еднаква стабилност на стената под и над закоравяващия пръстен, той трябва да бъде поставен на половината височина на H_r .

Ако се окаже, че $H_1 < H_r / 2$, тогава се налага да се постави още един междинен закоравяващ пръстен, който ще намали височината на незакоравената стена до стойности, по-малки от H_1 . Тогава за еднакво укрепяване на стената, закоравяващите пръстени ще се поставят в третините на H_r .

В [2] се препоръчва минималният съпротивителен момент на междинния пръстен W_1 да се определя предварително по следната формула:

$$W_1 \geq \frac{1}{k_v} \cdot \frac{D^2 \cdot H_1}{17}$$

При резервоари с плаващи покриви, най-малкия съпротивителният момент на ГОП се определя по формулата:

$$W_G \geq \frac{1}{k_v} \cdot \frac{D^2 \cdot H}{17}, \text{ където:}$$

H – височината на стената на резервоара.

При резервоари със стационарни покриви съпротивителният момент на ГОП също може да се приеме предварително по горната формула, но е препоръчително да се отчете закоравящото действие на покривната конструкция.

2. Определяне на усилията в междинните укрепващи пръстени

Под действието на ветровото натоварване, в междинните пръстени възникват усилия, които според [1] се определят по следните формули:

$$M_{wi} = k_1 \cdot w_{eq} \cdot \gamma_{fw} \cdot b_i \cdot r^2$$

$$Q_{wi} = k_2 \cdot w_{eq} \cdot \gamma_{fw} \cdot b_i \cdot r$$

$$N_{wi} = k_3 \cdot w_{eq} \cdot \gamma_{fw} \cdot b_i \cdot r, \text{ където:}$$

k₁, k₂, k₃ – коефициенти, които за различните стойности на централния ъгъл и отношението **H/D** се отчитат от Приложение IX на [1];

w_{eq} – нормативно еквивалентно ветрово натоварване по корпуса на резервоара. Това е равномерно разпределено по височина ветрово натоварване, което има еквивалентно на предписаното разпределение по височина въздействие върху резервоара;

γ_{fw} – коефициент за натоварване от вятър;

b_i – съдействаща ширина на товарната площ, от която ветровото натоварване се предава на ветроупорния пръстен;

r – радиус на резервоара.

При резервоари със стационарен покрив, влияние оказва и вакуумът вътре в резервоара. Тогава горните формули ще придобият вида:

$$M_{w,pi} = k_1 \cdot w_{eq} \cdot \gamma_{fw} \cdot b_i \cdot r^2$$

$$Q_{w,pi} = k_2 \cdot w_{eq} \cdot \gamma_{fw} \cdot b_i \cdot r$$

$$N_{w,pi} = (k_3 \cdot w_{eq} \cdot \gamma_{fw} - p_v \cdot \gamma_{fv}) \cdot b_i \cdot r, \text{ където:}$$

p_v – вакуумът вътре в резервоара

γ_{fv} – коефициент за натоварване от вакуум

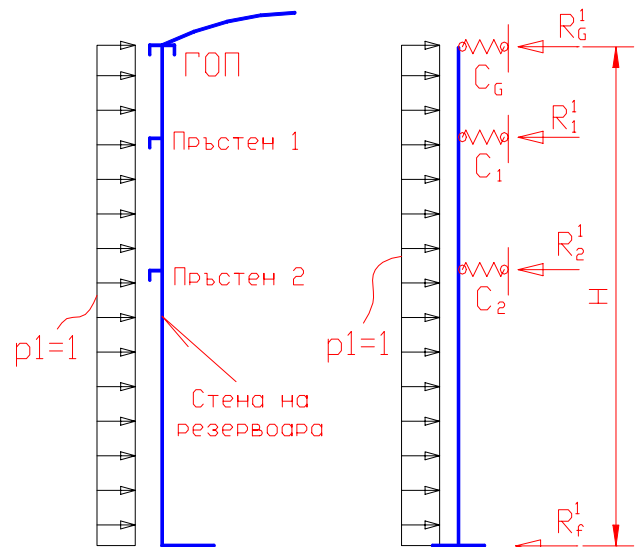
Когато е известна скоростта на вятъра **v**, м/с на височина 10 м над нивото на терена, скоростния напор на вятъра **q_o**, участващ в определянето на **w_{eq}**, може да се определи по формулата:

$$q_o = \frac{v^2}{16}, \text{ daN/m}^2$$

2.1 Опит за решение при равнинна постановка на задачата

За да се определи **b_i**, резервоарът се натоварва с условен равномерно разпределен товар **p₁ = 1**. Ако стената е с променлива дебелина по височина, в изчислителния модел трябва да се въведат реалните дебелини на листовите.

Равнинен модел с отчитане различните геометрични характеристики на ветроупорните пръстени



Тук се получава преразпределение на усилията в междинните пръстени, съгласно коравината им.

$$R_G^1 = p_1 \cdot b_G \rightarrow R_G^1 = b_G$$

$$R_1^1 = p_1 \cdot b_1 \rightarrow R_1^1 = b_1$$

$$R_2^1 = p_1 \cdot b_2 \rightarrow R_2^1 = b_2$$

$$R_f^1 = p_1 \cdot b_f \rightarrow R_f^1 = b_f$$

$$R_G^1 + R_1^1 + R_2^1 + R_f^1 = p_1 \cdot H$$

$$b_G + b_1 + b_2 + b_f = H$$

C_G, C₁, C₂ – пружинни константи на ветроупорните пръстени, съгласно геометричните им характеристики и дебелината на стената под тях. Проблемът при определянето им идва от сложния характер на ветровото натоварване. Ветроупорният пръстен е моделиран като гредка на еластична основа. Пружинните константи на основата (стената на резервоара) се определят по формулата:

$$k_{wi} = \frac{E \cdot t_{wi}}{r^2}, \text{ където:}$$

k_{wi} – пружинна константа на цилиндричния корпус;

E – модул на еластичността на стоманата;

t_{wi} – дебелина на стената;

r – радиус на резервоара.

Дъното се приема за безкрайно кораво в своята равнина.

При няколкото опита за равнинно решение на задачата с отчитане на различните коравини на пръстените и реалните дебелини на стената, съотношението между получените реакции R_i оставаше приблизително същото, независимо от промените в пружинните константи C_i . Винаги междинните ветроупорни пръстени се оказваха в пъти претоварени в сравнение с ГОП. Меродавни за R_i са разстоянията между опорите, а не техните коравини.

Решенията на задачата придобиха друг характер, когато дебелината на стената на резервоара започна да се увеличава. Тогава стойностите на C_i започнаха да оказват много съществено влияние и опорните реакции R_i се получаваша в зависимост от коравината им.

2.2 Решение при пространствена постановка на задачата

В опит за намиране на най-близкото до реалността решение, бяха въведени пространствени модели на резервоари с обем 2000m^3 , 3000m^3 , 5000m^3 и $10\,000\text{m}^3$, с фиксиран покрив, с реалните дебелини на стените и истинските геометрични характеристики на опорните пръстени. Натоварването на резервоара от вятър беше взето неравномерно, съгласно разпределението, дадено в [3]. Вакуумът, който възниква при резервоари с постоянен покрив е равномерно разпределен.

$p_w^n = 1,234\text{kN}/\text{m}^2$ - нормативно натоварване от вятър при 160 км/ч

$p_v = 0,5\text{kN}/\text{m}^2$ - нормативно натоварване от вакуум в резервоара.

$\gamma_{fw} = 1,2$ – коефициент на претоварване за натоварване от вятър, съгласно [2];

$\gamma_{fv} = 1,2$ – коефициент за претоварване от вакуум в резервоара.

Получените усилия в пръстените бяха в зависимост от инерционните им моменти и се различаваха в пъти. Най-големите усилия се получават в ГОП, който беше по задание с най-голям инерционен момент, допълнително закоравен от покрива.

Междинните ветроупорни пръстени за тези 4-и резервоара бяха проверени за усилията в тях, съгласно EN 1993 EUROCODE 3 Design of steel structures. Сеченията на пръстените, които бяха приети за да се осигури

минимален съпротивителен момент W_1 , съгласно [2], бяха по-вече от достатъчни.

3. Оразмеряване

Междинните ветроупорни пръстени се проверяват якостно на нецентричен натиск и нецентричен опън.

След завършване на якостното оразмеряване на междинните пръстени, те трябва да бъдат проверени за загуба на устойчивост, според [1], по формулата:

$$q_{cr} = \frac{3 \cdot E \cdot J_m}{r_m^3} \geq q, \text{ където:}$$

E - модул на еластичността на стоманата, kN/m^2

J_m - инерционен момент на ветроупорния пръстен, m^4

r_m – среден радиус на опорния пръстен, m

q – действително натисково натоварване върху ветроупорния пръстен, kN/m^2

Заклучение

Отчитайки непрекъснатото нарастване на работните обеми в резервоаростроенето, използването на междинни ветроупорни пръстени за укрепяване на стената е неизбежно.

Тази статия е един първи опит за намиране на методика, чрез която да бъдат определени реалните усилия в междинните опорни пръстени и те да бъдат оразмерени за тях. При оразмеряване само по конструктивните изисквания, посочени в [2], изобщо не е ясно дали приетите сечения са достатъчни. Също така е напълно възможно да се получават преоразмерени сечения. Но първоначално приетите по горната методика профили и местоположение на междинните пръстени са много добра база за създаване на пространствен модел, проверка и оразмеряване.

Решенията са търсени при равнинна и пространствена постановка, с цел по-лесно сравнение на получените решения.

Литература:

1. “Ръководство за проектиране на стоманени вертикални цилиндрични резервоари”, БРВ – КЗР, 1988 г.
2. API 650 – tenth edition, November 1998
3. “Норми за натоварване и въздействие върху сгради и съоръжения”, 1989 г.