

УДК 629.3.027

В.Л. Крещенецький, О.В. Конозюк

Вінницький національний технічний університет

**РОЗРАХУНОК ПЕРЕГОРОДОК У ЦИСТЕРНАХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

В роботі наведені варіанти поділу цистерни на секції з метою зменшення збурюючої сили та розраховані перегородки.

Ключові слова: цистерна, збурююча сила, перегородка, поділ на секції.

**Вступ**

На рідину, що знаходиться в цистерні рухомого транспортного засобу, впливають збурюючі сили, викликані змінами швидкості, напрямки руху і коливаннями цистерни на його підвісці (опорі). Ці сили викликають рух рідини всередині цистерни, так зване "плескання", яке надає динамічне навантаження на елементи конструкції цистерни.

В інженерних розрахунках на міцність елементів цистерни (днища, шпангоута та ін.) динамічне навантаження зазвичай враховується коефіцієнтом динамічності  $K_d$ , на величину якого збільшують розрахункове статичне навантаження. Сила динамічного впливу являє собою силу інерції рідини, що виникає при зміні рівномірності і прямолінійності руху транспортного засобу при його прискоренні, гальмуванні, наїзді на перешкоду.

**Основна частина**

Для зниження гідродинамічного впливу, рух рідини всередині цистерни обмежують установкою додаткових перегородок (хвилерізів) з отворами, які утворюють окремі відсіки.

На рис. 1,а показана цистерна, що складається з одного відсіку в спокійному стані рідини і при дії зовнішньої збурюючої сили, що є функцією часу ( $P(t)$ ). Сили інерції переміщують рідину проти напрямку їхньої дії в одну частину цистерни. Відбувається динамічне навантаження днища і частини обичайки цистерни. При установці перегородок цистерна розділяється на декілька окремих відсіків (рис.1,б). За рахунок цього обсяг рідини, що знаходиться в цистерні, перерозподіляється на окремі обсяги по відсіках. Збурююча сила переміщує в кожній секції меншу частину рідини і, відповідно, динамічне навантаження елементів цистерни зменшується.

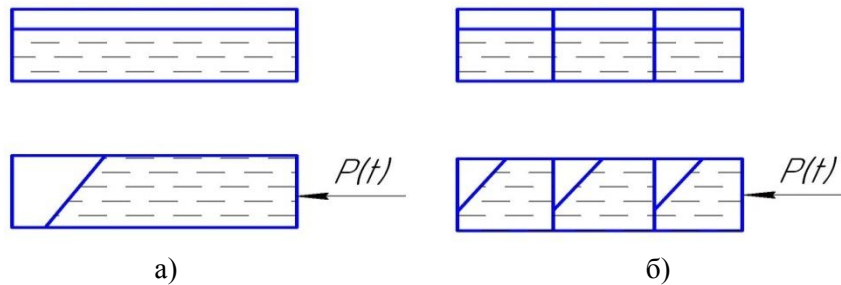


Рис. 1. Навантаження цистерни без відсіків а) і з відсіками б)

На рідину, що знаходиться всередині цистерни або секції, в разі руху транспортного засобу з прискоренням (уповільненням) діють об'ємні сили, що складаються з сил інерції і сил тяжіння (рис. 2).

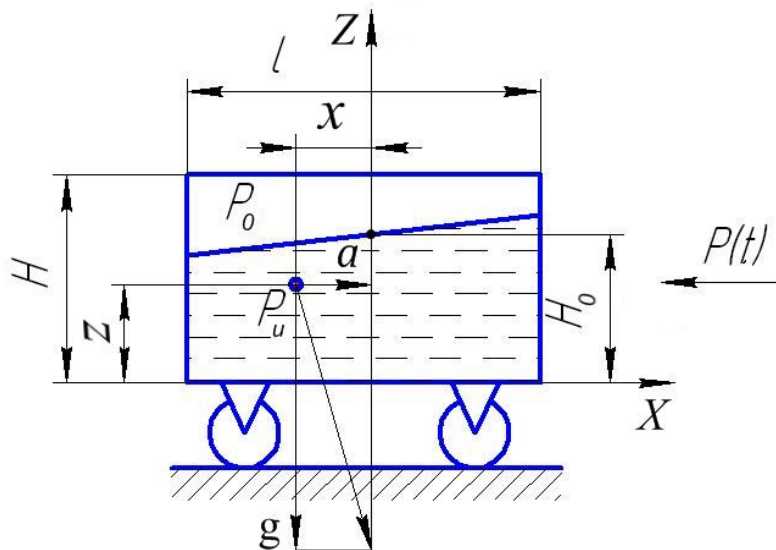


Рис. 2. Об'ємні сили, що діють на рідину всередині цистерни

Поверхнями рідини рівного енергетичного потенціалу є площинно паралельні поверхні, що проходить через точку з координатами  $z = H_0$ ,  $x = 0$ . Сили інерції змінюють нахил вільної поверхні, рівняння якої буде:

$$z = H_0 + \frac{a}{g} \cdot x, \quad (1)$$

де  $x$ ,  $z$  – координати будь-якої точки на поверхні рідини;  $a$ ,  $g$  – прискорення сил інерції і тяжіння, відповідно.

Тиск рідини  $P_u$  з урахуванням сил інерції в довільній точці об'єму з координатами  $x$ ,  $z$  може бути представлено виразом

$$P_u = P_0 + n \cdot \left[ \frac{a}{g} \cdot x + H_0 - z \right], \quad (2)$$

де  $P_0$  – надлишковий тиск газу над рідиною;  $n$  – об'ємна вага рідини;  $H_0$  – висота стовпа рідини у вільному стані.

У випадку повністю заповненою цистерни рівняння (1) набуде вигляду

$$P_u = n \cdot \left[ \frac{a}{g} \cdot l + H \right]. \quad (3)$$

В окремому випадку, при  $a = g$ , тиск визначається за формулою

$$P_u = n \cdot [l + H]. \quad (4)$$

де  $l$ ,  $H$  – довжина і висота цистерни, відповідно.

Тиск рідини буде найбільшим при  $z = 0$ , тобто на нижній поверхні цистерни. Тиск також зростає зі збільшенням довжини цистерни і висоти шару рідини. Наприклад: при  $z=0$ ,  $x=H_0$ ,  $a=0,5g$ ,  $P_0=0$  тиск дорівнює  $P_u = 1,5 \cdot n \cdot H_0$ ;

при  $z=0$ ,  $x=10H_0$ ,  $a=0,5g$ ,  $P_0=0$  величина  $P_u = 5 \cdot n \cdot H_0$ .

Сумарне навантаження  $P$  на перегородку (рис. 3) складається з тиску газу над поверхнею рідини  $P_0$ , сил інерції матеріалу пластини  $P_M$  (у разі достатньо великого прискорення руху транспортного засобу) і сил інерції рідини  $P_u$ :

$$P = P_0 + P_M + n \cdot \left[ \frac{a}{g} \cdot x + H_0 - z \right], \quad (5)$$

$$P_M = n_M \cdot \delta \cdot a, \quad (6)$$

де  $n_M$  – об'ємна вага матеріалу пластини;  $\delta$  – товщина пластини.

У разі повного заповнення цистерни або при  $a > \frac{(H - H_0) \cdot g}{0.5 \cdot l}$  схема навантаження від сил інерції рідини відповідає рис. 3,а.

У разі неповного заповнення цистерни, при  $a < \frac{(H - H_0) \cdot g}{0.5 \cdot l}$  рис. 3,б.

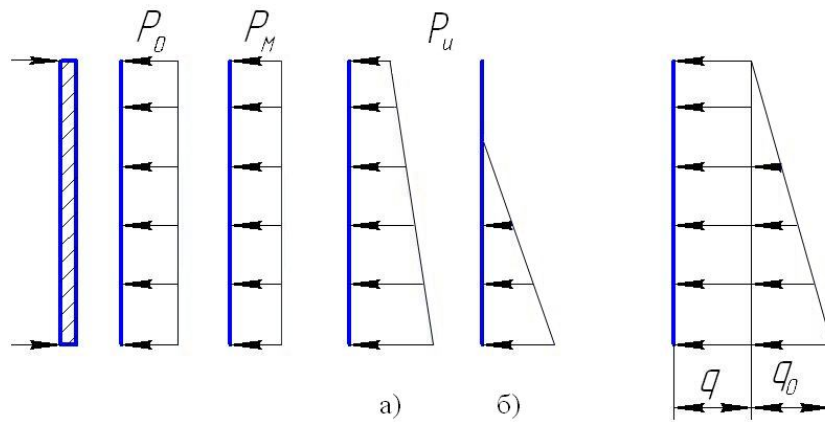


Рис. 3. Тиск на перегородки цистерни

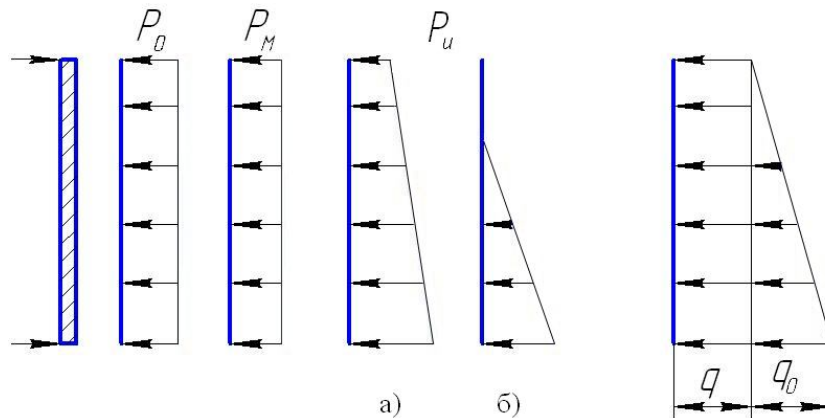


Рис. 4. Епюра навантаження при її повному (а) і неповному (б) заповненні

При складному навантаженні пластини (перегородки) трудомісткість її аналітичного розрахунку на міцність і жорсткість досить велика. Для спрощення розрахунку скористаємося вже готовими рішеннями, отриманими для ряду найпростіших завдань. Шляхом їх накладення, з'являється можливість отримати потрібні розрахункові величини для більш складної дії навантаження [1].

Епюру навантаження перегородки можна розшарувати на рівномірно розподілене тиск з інтенсивністю  $q$  і гідростатичний тиск, що змінюється по лінійної залежності  $q_0$  (рис. 4). Для них вирішено диференціальне рівняння вигину жорсткої пластинки при різних умовах її закріплення.

Перегородки мають круглу, еліптичну або іншу форму відповідно до профілю цистерни, на якій вони встановлюються. При цьому пластинка складної форми може бути розділена на елементарні - кола, частини кола, прямокутника і т.п., для яких теж є готові рішення.

Так, рішення диференціального рівняння вигину жорсткої прямокутної пластинки з шарнірно опертими краями (рис. 3), як самого несприятливого випадку закріплення, можна привести до визначення максимальних прогину і згинальних моментів в перерізах пластинки. При цьому:

максимальний прогин  $u_{max}$ :

$$u_{max} = C_5 \cdot \frac{q \cdot e^4}{D} + C_1 \cdot \frac{q_0 \cdot e^4}{D}, \quad (7)$$

максимальні згинальні моменти  $M_{max}$  у двох напрямках

$$M_{x(max)} = C_6 \cdot q \cdot e^2 + C_2 \cdot q_0 \cdot e^2; \quad (8)$$

$$M_{y(max)} = C_7 \cdot q \cdot e^2 + C_3 \cdot q_0 \cdot e^2$$

де  $e$  – висота пластини (при ширині пластини  $b$  меншої висоти ( $b < e$ ) у другий доданок формули, замість висоти  $e$  входить ширина  $b$  пластини);  $D$  – циліндрична жорсткість пластини (при  $\mu = 0,3$ ):

$$D = \frac{E\delta^3}{12(1-\mu^2)}. \quad (9)$$

де  $E$ ,  $\mu$  – модуль поздовжньої пружності і коефіцієнт поперечної деформації матеріалу пластини, відповідно;  $C_1 \dots C_7$  – розрахункові табличні коефіцієнти виду закріплення [1].

Максимальні по товщині пластинки нормальні напруги  $\sigma_{max}$  будуть у її поверхні

$$y_{x(max)} = \frac{6M_{x(max)}}{\delta^2}; \quad (10)$$

$$y_{y(max)} = \frac{6M_{y(max)}}{\delta^2}. \quad (11)$$

Значення коефіцієнтів  $C_1 \dots C_7$  в формулах (1,7), (1,8), (1,9) для випадку шарнірно опертої прямокутної пластинки навантаженої рівномірно розподіленим тиском  $q$  і тиском  $q_0$  (при  $\mu = 0,3$ ), що змінюються по лінійної залежності наведені в таблиці.

Таблиця 1.

Значення коефіцієнтів закріплення

$\frac{b}{e}$ или $\frac{e}{b}$ при $e > b$	$C_5$	$C_1$		$C_6$	$C_2$		$C_7$	$C_3$	
		$b > e$	$b < e$		$b > e$	$b < e$		$b > e$	$b < e$
1,0	0,00406	0,00203	0,00203	0,0479	0,0264	0,0264	0,0479	0,0245	0,245
1,2	0,00564	0,00282	0,00286	0,0627	0,0338	0,0291	0,0501	0,0254	0,323
1,4	0,00705	0,00353	0,00363	0,0755	0,0402	0,0315	0,0502	0,0254	0,396
1,6	0,00830	0,00415	0,00432	0,0862	0,0454	0,0331	0,0492	0,0249	0,0457
1,8	0,00931	0,00465	0,00491	0,0948	0,0496	0,0341	0,0479	0,0242	0,0509
2,0	0,01013	0,00506	0,00542	0,1017	0,0529	0,0348	0,0464	0,0234	0,0554
4,0	0,01282	0,00641	0,00832	0,1235	0,0632	0,0326	0,0384	0,0196	0,0820
$\infty$	0,01302	0,00651	0,00976	0,1250	0,0640	0,0281	0,0375	0,0192	0,937

### Висновки

Таким чином, розділивши плоску перегородку цистерни транспортного засобу на пластини елементарних форм, вибравши умови їх закріплення і представивши навантаження, як суму рівномірно розподіленим і змінюється по лінійної залежності, досить просто розрахувати максимальні величини прогину і нормальних напружень, що виникають в перегородці, тобто здійснити її розрахунок на міцність і жорсткість.

1. Коновалюк Д.М. Деталі машин: підручник / Коновалюк Д.М., Ковальчук Р.М.. – К. : Кондор, 2004. – 594 с.
2. Міцність, стійкість, коливання. - Довідник: У 3-х т. - Т. 1 / За заг. ред. І.А. Біргера і Я.Г. Пановко. - М.: Машинобудування, 1968. - 832 с.