

УДК 651.754

О. І. Шаповалов

## ВИЗНАЧЕННЯ СТІЙКОСТІ БЛОЧНОЇ БАГАТОЯРУСНОЇ ЗАГОРОДЖУВАЛЬНОЇ ПЕРЕШКОДИ ПІД ДІЄЮ ЗОВНІШНЬОГО НАВАНТАЖЕННЯ

*Запропоновано новий загороджувальний засіб для використання силами охорони правопорядку під час припинення масових заворушень. Наведена розрахункова схема блочної багатоярусної загороджувальної перешкоди рядного порядку побудови з рідиною, за якою побудована математична модель визначення стійкості конструкції у випадку прикладання зовнішнього навантаження. Наведені результати математичного моделювання.*

**Постановка проблеми.** Одне із завдань, які виконують сили охорони правопорядку (СОПр), пов'язане з функцією забезпечення громадської безпеки, захисту життя, здоров'я, прав і свобод громадян, власності від протиправних та злочинних посягань під час проведення масових заходів [1]. Складником СОПр є внутрішні війська (ВВ), які відповідно до законів [2; 3] разом з органами і підрозділами міліції виконують службово-бойові завдання (СБЗ) з охорони громадського порядку (ОГП) і забезпечення громадської безпеки (ЗГБ).

За певних обставин масові заходи можуть перерости у масові заворушення (МЗ). У статті [4] зазначається, що МЗ можуть здійснюватися великою кількістю людей або натовпом, супроводжуватися вчиненням насильства, погромами, підпалами, знищенням майна, захопленням будівель або споруд, опором представникам влади та діями руйнівного характеру із застосуванням зброї або інших предметів, які використовуються як зброя.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Результати аналізу спостережень за перебігом масових заворушень показують, що їх учасники можуть використовувати для досягнення злочинних цілей як підручні (каміння, шматки асфальту й плит, скляні пляшки, ланцюги, металеві прутки та ін.), так і заздалегідь підготовлені засоби нападу (вогнепальну та холодну зброю, толові та димові шашки, пляшки із запальною сумішшю, вибухові пристрої або пакети і т. ін.), а також різні технічні засоби [5].

Наведені у праці [6] дані свідчать про складність припинення МЗ і необхідність ретельної підготовки особового складу підрозділів СОПр до проведення спеціальної операції (СО) з їх припинення.

Важливою умовою проведення СО повинно бути зменшення можливого травмування як особового складу СОПр, так і учасників заворушень, зменшення побічних збитків, що завдають підприємствам різної власності та інфраструктурі району в цілому.

У праці [7] зазначається, що одним із завдань підрозділів СОПр під час проведення СО може бути оточення району операції з метою недопущення припливу громадян з використанням оперативно створених перешкод: вантажних автомобілів, інженерних та переносних загороджувальних засобів (ЗЗ) тощо.

Аналіз наукових досліджень [8] показує, що ЗЗ, які відповідають необхідним властивостям стійкості конструкції (недопущення проходу учасників МЗ на заборонені ділянки території та захищеність особового складу СОПр), у науково-технічній літературі та нормативних документах не розглянуті [7; 9], а науково-методичний апарат визначення показників стійкості конструкції потребує подальших наукових досліджень.

Таким чином, розроблення нового типу ЗЗ для використання підрозділами СОПр під час припинення МЗ є актуальним.

**Мета статті** – розроблення математичних моделей (ММ) визначення стійкості блочної багатоярусної загороджувальної перешкоди (ББЗП), які на відміну від існуючих [11], враховують можливість наповнення конструкції рідиною під час приведення її у готовність до застосування за призначенням.

**Виклад основного матеріалу.** Запропонований у авторському свідоцтві [10] новий ЗЗ викликає необхідність проведення досліджень процесу взаємодії пустотілих з'єднувальних елементів (ПЗЕ) конструкції ББЗП різних об'ємів та напрямків її наповнення рідиною під час прикладання зовнішнього навантаження.

© О. І. Шаповалов

Метою проведення теоретичних досліджень є: 1) розроблення ММ процесу наповнення ПЗЕ конструкції ББЗП рідиною; 2) розроблення ММ процесу взаємодії зовнішніх навантажень та ПЗЕ рядного порядку побудови ББЗП.

Для дослідження процесу взаємодії ПЗЕ конструкції ББЗП різних об'ємів та напрямків її наповнення рідиною під час прикладання зовнішнього навантаження необхідно скласти розрахункову схему (РС). Для складання РС прийемо такі припущення: 1) ББЗП являє собою блочну конструкцію, елементи якої зв'язані між собою силами ваги та реакції опори з можливістю їх зміни, ББЗП розміщується на площині обпирання з можливістю її переміщення відносно цієї площини; 2) зовнішнє навантаження може бути прикладене до будь-якого елемента конструкції; 3) ББЗП приймається абсолютно жорсткою; 4) рідина, яка використовується для зміни ваги ББЗП, не має в'язкості, тиск повітря в елементах при її наповненні атмосферний; 5) зовнішнє навантаження, що діє на елементи ББЗП, має статичний характер.

Розрахункова схема процесу взаємодії зовнішнього навантаження на елементи ББЗП у разі наповнення її рідиною складається з двох частин.

I. *Загальна схема наповнення елементів конструкції ББЗП рідиною (рис. 1), яка складається з:* 1) схеми з зовнішніми отворами для наповнення кожного елемента конструкції ББЗП рідиною окремо (рис. 1, а); 2) схеми з внутрішніми отворами для загального перетікання рідини з одного елемента конструкції ББЗП в інший (рис. 1, б).

На РС наповнення конструкції ББЗП рідиною (рис. 1) показано: 1, ...,  $i-1$ ,  $i$ ,  $i+1$ , ...,  $n$  – кількість (нумерація) ПЗЕ;  $Q$  – витрата рідини, яка подається в ПЗЕ,  $m^3/c$ ;  $H$  – рівень рідини в ПЗЕ, м.

Схема з зовнішніми отворами дозволяє реалізувати такі варіанти наповнення елементів конструкції ББЗП рідиною: 1) одночасне наповнення всіх елементів конструкції ББЗП рідиною; 2) наповнення конструкції ББЗП з верхнього елемента; 3) наповнення конструкції ББЗП з нижнього елемента.

Схема з внутрішніми отворами дозволяє реалізувати такі варіанти наповнення елементів конструкції ББЗП рідиною: 1) одночасне наповнення всіх елементів конструкції ББЗП рідиною шляхом підбору площі перетину внутрішніх отворів; 2) наповнення конструкції ББЗП з нижнього елемента.

II. *Загальна схема навантажень, яка враховує можливість зсуву і перекидання як окремих елементів, так і конструкції ББЗП в цілому (див. рис. 2).*

На РС прикладання до конструкції ББЗП зовнішнього навантаження показано:  $b$  – ширина елемента, м;  $P$  – зовнішнє навантаження, Н;  $G$  – сила навантаження ПЗЕ, Н;  $N$  – нормальна сила реакції опори, Н;  $F$  – сила тертя, що виникає між поверхнями ПЗЕ, Н;  $L$  – загальна висота конструкції

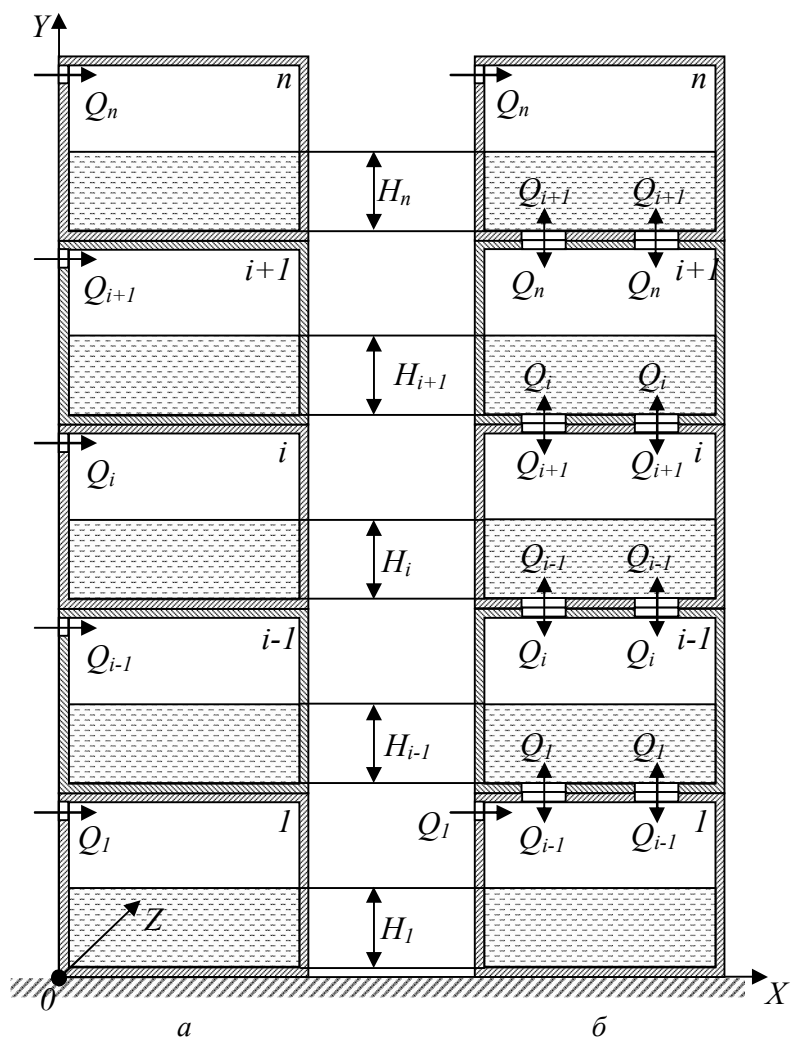


Рис. 1. Розрахункова схема наповнення конструкції ББЗП рідиною: а – з зовнішніми отворами; б – з внутрішніми отворами

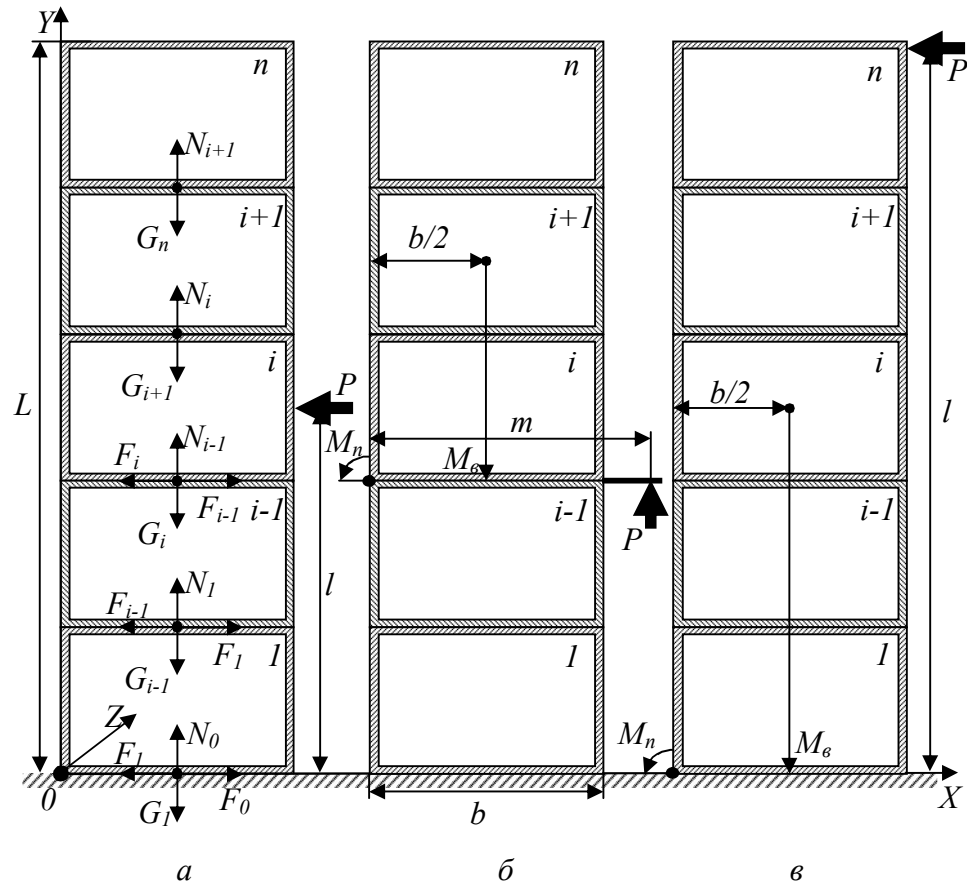


Рис. 2. Розрахункова схема прикладання до конструкції ББЗП зовнішнього навантаження: *a* – у випадку зсуву; *б* – у разі перекидання окремих елементів; *в* – у випадку перекидання конструкції ББЗП в цілому

ББЗП,  $m$ ;  $m$  – довжина плеча прикладання зовнішнього навантаження,  $m$ ;  $l$  – висота прикладання зовнішнього навантаження  $P$ ,  $m$ ;  $M_n$  – відновлюючий момент;  $M_n$  – перекидаючий момент.

У РС включено зв'язок між елементами конструкції ББЗП, який перешкоджає їх переміщенню відносно один-одного в горизонтальній площині  $XOZ$  під дією зовнішнього навантаження  $P$  (див. рис. 3).

На РС зв'язку між елементами конструкції ББЗП під дією зовнішнього навантаження  $P$  показано:  $f$  – коефіцієнт тертя між поверхнями ПЗЕ;  $\tau_{зр}$ ,  $\sigma_{зм}$  – діючі напруження;  $D$  – діаметр кільцевого стикувального отвору в ПЗЕ,  $m$ ;  $d$  – внутрішній діаметр з'єднувального шипа в ПЗЕ,  $m$ .

Розрахункова схема, яка подана на рис. 1а та 3а є найбільш загальною. Усі інші схеми (див. рис. 3) зв'язку між елементами конструкції у разі прикладання зовнішнього навантаження  $P$  є окремими випадками.

Математичний опис визначення стійкості конструкції ББЗП у випадку наповнення ПЗЕ рідиною під час прикладання зовнішнього навантаження  $P$  повинен включати в себе три складника: 1) ММ процесу наповнення ПЗЕ конструкції рідиною; 2) ММ зсуву ПЗЕ конструкції у разі прикладання зовнішнього навантаження  $P$ ; 3) ММ перекидання конструкції у випадку прикладання до ПЗЕ зовнішнього навантаження  $P$ .

Першим складником ММ з визначення стійкості ББЗП при прикладанні зовнішнього навантаження  $P$  є модель процесу наповнення ПЗЕ конструкції рідиною (див. рис. 1). Враховуючи складність математичного описування даного процесу, необхідним є прийняття припущень: 1) рідина в елементі є нестисненою; 2) тиск повітря в елементах конструкції ББЗП під час їх наповнення рідиною атмосферний.

Для розрахункової схеми (див. рис. 1а) ММ процесу наповнення елементів з зовнішніми отворами рідиною (без перегітання), згідно з відомими положеннями гідродинаміки [12], має вигляд:

$$\left. \begin{aligned} Q_n \cdot dt &= S \cdot dH_n(t), \\ &\dots \\ Q_i \cdot dt &= S \cdot dH_i(t), \\ &\dots \\ Q_1 \cdot dt &= S \cdot dH_1(t), \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де  $S$  – площа ПЗЕ, м<sup>2</sup>;  $t$  – час заповнення конструкції БЗП рідиною, с.

Для розрахункової схеми (див. рис. 1, б) ММ процесу наповнення ПЗЕ з перетіканням рідини має вигляд:

$$\left. \begin{aligned}
 &\text{для верхнього елемента} \\
 &Q_0 \times dt - m_{i+1}(t) \times \omega_{i+1} \sqrt{2g \times [H_{i+1}(t) + l_{i+1}(t)]} \times dt = S \times dH_{i+1}(t), \\
 &\dots \\
 &\mu_{i+1}(t) \cdot \omega_{i+1} \sqrt{2g \cdot [H_{i+1}(t) + l_{i+1}(t)]} \cdot dt - \mu_i(t) \cdot \omega_i \sqrt{2g \cdot [H_i(t) + l_i(t)]} \cdot dt = S \cdot dH_i(t), \\
 &\dots \\
 &\text{для нижнього елемента} \\
 &\mu_i(t) \cdot \omega_i \sqrt{2g \cdot [H_i(t) + l_i(t)]} \cdot dt = S \cdot dH_{i-1}(t),
 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

де  $l$  – ділянка від площини днища до площини максимального стискання струменя, м;  $\mu$  – коефіцієнт витрати;  $\omega$  – площа перетину стикувального отвору в ПЗЕ, м<sup>2</sup>;  $g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>.

Другим складником ММ з визначення стійкості БЗП є модель зсуву ПЗЕ у разі прикладання зовнішнього навантаження  $P$ . Розрахункова схема процесу зсуву ПЗЕ наведена на рис. 2а.

Для математичного опису процесу зсуву ПЗЕ конструкції у випадку прикладання зовнішнього навантаження  $P$  прийняті такі припущення: 1) ПЗЕ є твердим тілом; 2) деформацію ПЗЕ під час навантаження не враховуємо; 3) зовнішня сила навантаження прикладається до  $i$ -го ПЗЕ конструкції; 4) зсув  $i$ -го ПЗЕ конструкції відбувається в площині  $XOZ$ ; 5) процес зсуву ПЗЕ відбувається за законом Амонтана–Кулона [11].

Для визначення стійкості БЗП у випадку зсуву ПЗЕ обчислюють коефіцієнт  $k_{\text{ст. зсуву}}$ , який є співвідношенням сили тертя  $F$  та максимального зовнішнього навантаження  $P_{\text{max}}$ :

$$k_{\text{ст. зсуву}} = \frac{F_i}{P_{\text{max}}} \quad (3)$$

Загальна ММ процесу зсуву у разі прикладання зовнішнього навантаження  $P$  до 1-го та  $(1+i)$ -го ПЗЕ конструкції від реакції опору  $N$  елементів та напрямку наповнення БЗП рідиною має такий вигляд.

$$\left. \begin{aligned}
 &P = F_i, \\
 &\text{за умови } f_{01} < f_i, \\
 &\text{якщо зовнішнє навантаження } P \text{ прикладається до 1-го ПЗЕ:} \\
 &F_{01} = \left[ f_{0,1}(N) \cdot \left( \left( N_{\text{ел.1}} + \sum_{i=1}^n N_{\text{ел.}i} \right) + \left( \left( S \cdot dH_1(t) + \sum_{i=1}^n S \cdot dH_i(t) \right) \cdot \rho \cdot g \right) \right) \right]; \\
 &\text{за умови } f_{01} \geq f_i, \\
 &\text{якщо зовнішнє навантаження } P \text{ прикладається до } (1+i)\text{-го ПЗЕ:} \\
 &F_{1+i} = \left[ f_{1+i,i}(N) \cdot \left( \sum_{i=1}^n N_{\text{ел.}1+i} + \sum_{i=1}^n S \cdot dH_{1+i}(t) \cdot \rho \cdot g \right) + \right. \\
 &\quad \left. + f_{1,0}(N) \cdot \left( N_{\text{ел.1}} + S \cdot dH_{1+i}(t) \cdot \rho \cdot g \right) \right], \\
 &k_{\text{ст. зсуву}} = \frac{F_i}{P_{\text{max}}},
 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя;  $\rho$  – щільність рідини, кг/м<sup>3</sup>.

Початкові умови:  $t = 0$  с;  $H_i = 0$  м.

Для випадку визначення стійкості БЗП під час зсуву елементів з використанням конструктивних

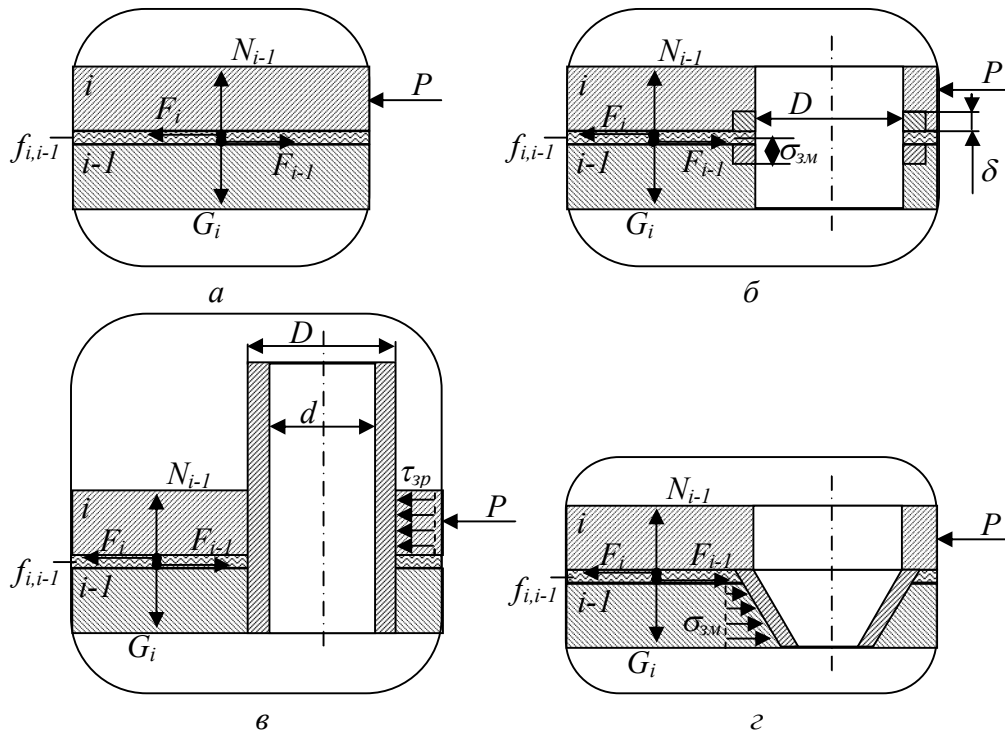


Рис. 3. Розрахункова схема зв'язку між елементами конструкції БЗП: а – силою тертя; б – кільцевими стикувальними отворами; в – з'єднувальними шипами; г – трапецієдними шипами

з'єднань між ПЗЕ (див. рис. 3) прийняті такі припущення: 1) у поперечному перерізі кільцевих стикувальних отворів та з'єднувальних шипів ПЗЕ виникає тільки один внутрішній силовий фактор – поперечна сила; 2) дотичні напруження, що виникають у поперечному перерізі кільцевих стикувальних отворів та з'єднувальних шипів ПЗЕ, розподілені по його площі рівномірно; 3) якщо з'єднання ПЗЕ здійснене декількома однаковими кільцевими стикувальними отворами або з'єднувальними шипами, приймається, що всі вони навантажені однаково.

З урахуванням виразу (4) ММ визначення стійкості БЗП зі з'єднувальними шипами (див. рис. 3в) при прикладанні зовнішнього навантаження  $P$  матиме такий вигляд.

$$\left. \begin{aligned}
 & \text{За умови } F_{01} < P_{\max} < P_{\text{зр}}, \\
 & F_{01} = \left[ f_{0,1}(N) \cdot \left( \left( N_{\text{ел}_1} + \sum_{i=1}^n N_{\text{ел}_i} \right) + \left( \left( S \cdot dH_1(t) + \sum_{i=1}^n S \cdot dH_i(t) \right) \cdot \rho \cdot g \right) \right) \right]; \\
 & \text{за умови } P_{\max} = P_{\text{зр}}, \\
 & F_{1+i} = \left[ f_{1+i,i}(N) \cdot \left( \sum_{i=1}^n N_{\text{ел}_{1+i}} + \sum_{i=1}^n S \cdot dH_{1+i}(t) \cdot \rho \cdot g \right) + \right. \\
 & \quad \left. + f_{1,0}(N) \cdot \left( N_{\text{ел}_1} + S \cdot dH_1(t) \cdot \rho \cdot g \right) \right], \\
 & P_{\text{зр}} = [\tau_{\text{зр}}] \cdot k \cdot A_{\text{зр}}, \\
 & k_{\text{ст.зсуву}} = \frac{P_{\text{зр}}}{P_{\max}},
 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

де  $A_{\text{зр}}$  – площа зрізу з'єднувальних шипів,  $\text{м}^2$ ;  $k$  – кількість з'єднувальних шипів;  $[\tau_{\text{зр}}]$  – припустиме напруження на зріз, що виникає в поперечному перерізі з'єднувальних шипів, МПа ( $\text{Н}/\text{м}^2$ ).

Початкові умови:  $t = 0$  с;  $H_i = 0$  м.

Третім складником ММ з визначення стійкості БЗП є модель перекидання конструкції в цілому і окремих її елементів під дією прикладеного зовнішнього навантаження  $P$ .

В основі методики визначення коефіцієнта стійкості ББЗП  $k_{\text{ст.перек}}$  у разі перекидання конструкції в цілому та окремих її елементів використовується співвідношення перекидаючих  $M_{\Pi}$  та відновлюючих  $M_{\text{В}}$  моментів [13]:

$$k_{\text{ст.перек}} = \frac{M_{\text{В}}}{M_{\Pi}}. \quad (6)$$

Умова стійкості конструкції ББЗП до перекидання у випадку прикладання зовнішнього навантаження  $P$  така:  $M_{\text{В}} \geq M_{\Pi}$ .

Для визначення  $k_{\text{ст.перек}}$  у даній методиці розрахунку використовуються характеристики геометричних параметрів ББЗП та розташування центра мас, які визначають межі статичної стійкості.

Розрахункова схема процесу перекидання окремих елементів ББЗП у випадку прикладання зовнішнього навантаження  $P$  наведено на рис. 2, б.

Загальна ММ визначення стійкості ББЗП при перекиданні її окремих ПЗЕ під дією зовнішнього навантаження  $P$  вздовж осі  $OY$  на плечі  $m$  має такий вигляд.

$$\left. \begin{aligned} &\text{Умова збереження стійкості окремих елементів: } M_{\text{В}} \geq M_{\Pi}; \\ &G_{\text{ел.}p_i} = G_{\Sigma} - G_Y, \\ &M_{\text{В}} = \left( \sum_{i=1}^n G_{\text{ел.}i} + \left( \sum_{i=1}^n S \cdot dH_i(t) \cdot \rho \cdot g \right) \right) \cdot \frac{b}{2}, \\ &M_{\Pi} = P \cdot m, \\ &P = \frac{G_i \cdot b}{2 \cdot m}, \\ &k_{\text{ст.перек}} = \frac{M_{\text{В}}}{M_{\Pi}}. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Початкові умови:  $t = 0$  с;  $H_i = 0$  м.

Розрахункова схема процесу перекидання ББЗП у випадку прикладання зовнішнього навантаження  $P$  наведена на рис. 2, в.

Загальна ММ визначення стійкості ББЗП при її перекиданні під дією зовнішнього навантаження  $P$ , що перпендикулярне осі  $OY$ , має такий вигляд.

$$\left. \begin{aligned} &\text{Умова збереження стійкості конструкції ББЗП: } M_{\text{В}} \geq M_{\Pi}; \\ &M_{\text{В}} = \left( \sum_{i=1}^n G_{\text{ел.}i} + \left( \sum_{i=1}^n S \cdot dH_i(t) \cdot \rho \cdot g \right) \right) \cdot \frac{b}{2}, \\ &M_{\Pi} = P \cdot l, \\ &k_{\text{ст.перек}} = \frac{M_{\text{В}}}{M_{\Pi}}. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Початкові умови:  $t = 0$  с;  $H_i = 0$  м.

За допомогою ММ (4) побудовано графік залежність сили, необхідної для зсуву конструкції ББЗП  $P = F_i$ , від реакції опору  $N$  елементів (див. рис. 4).

Під час прикладання зовнішнього навантаження  $P$  до  $i$ -го (включаючи нижній) елемента ББЗП (для єдиної конструкції: 1) зв'язок між елементами за допомогою сили тертя, за умови  $f_{01} < f_i$ ; 2) зв'язок між елементами за допомогою кільцевих стикувальних отворів, за умови  $P_{\text{max}} < P_{\text{зм}}$ ; 3) зв'язок між елементами за допомогою з'єднувальних шипів, за умови  $P_{\text{max}} < P_{\text{зр}}$  і т. п.) та відсутності рідини в елементах відбувався зсув всієї конструкції з силою  $P = F_{01}$  між поверхнею 1-го ПЗЕ та поверхнею основи обпирання. Вихідні дані:  $f_{01} = 0,1$ ;  $G_{\text{ел.}(1...5)} = 2850$  Н;  $G_{p.(1...5)} = 18625$  Н.

Отже, залежність сили, необхідної для зсуву конструкції  $P = F_i$  від реакції опору  $N$  елементів, яка наведена на рис. 4, не залежить від напрямку наповнення конструкції рідиною, а залежить від реакції опору  $N$  елементів.

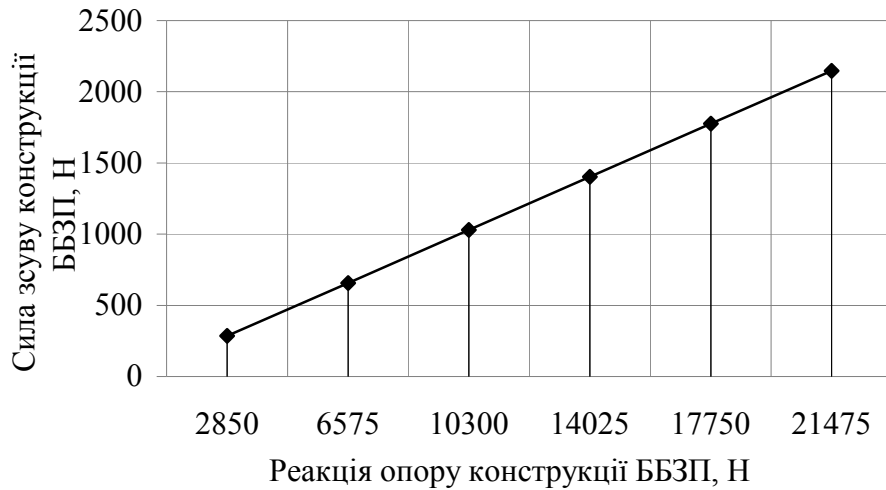


Рис. 4. Залежність сили, необхідної для зсуву ББЗП у разі прикладання зовнішнього навантаження  $P$  до  $i$ -го ПЗЕ, від реакції опору  $N$  елементів

За умови  $f_{01} > f_i$  та у разі прикладання зовнішнього навантаження  $P$  до  $(1+i)$ -го ПЗЕ конструкції, зсув ненаповнених та наповнених елементів відбуватиметься між елементом, до якого прикладена сила  $P_{1+i}$  ( $i=1 \dots n$ ), та нижчим елементом  $i$  при силі зсуву  $P_{1+i} = F_{1+i}$ .

На основі ММ (4) побудована залежність сили, необхідної для зсуву елементів конструкції  $P = F_{1+i}$  (при  $f_{12} = 0,1$  та прикладанні зовнішнього навантаження  $P$  до 2-го ПЗЕ), від реакції опору  $N$  елементів (за умов  $G_{en.(1 \dots 5)} = 2850$  Н;  $G_{p.(1 \dots 5)} = 18625$  Н) та напрямку наповнення їх рідиною відносно осі  $OY$ . Результати ММ наведені на рис. 5.

Особливість залежності сили  $P = F$ , необхідної для зсуву елементів конструкції у разі прикладання зовнішнього навантаження  $P$  до  $(1+i)$ -го ПЗЕ, від реакції опору  $N$  елементів та напрямку наповнення конструкції рідиною, яка наведена на рис. 5, в тому, що одному значенню реакції опору  $N$  елементів відповідає декілька значень сил, необхідних для зсуву елементів ББЗП, залежно від напрямку наповнення їх рідиною.

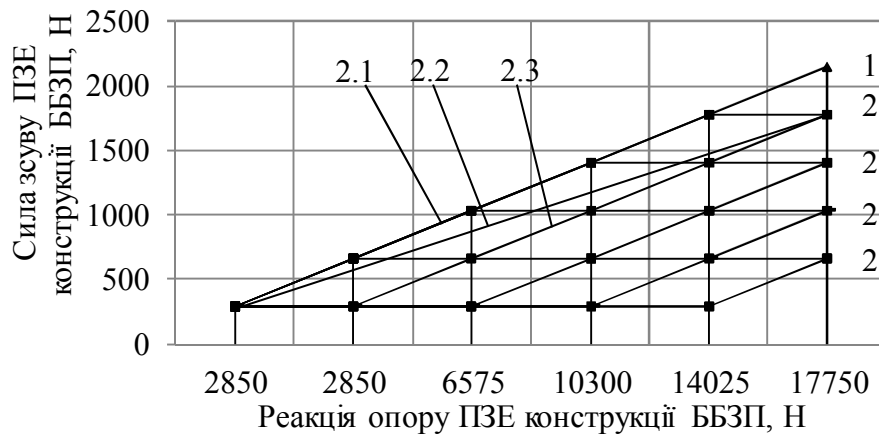


Рис. 5. Залежність сили, необхідної для зсуву ПЗЕ конструкції, від їх реакції опору  $N$  та напрямку їх наповнення рідиною: 1 – прикладання зовнішнього навантаження  $P$  до першого елемента; 2 – до  $i$ -го елемента; 2.1 – заповнення конструкції рідиною з 5-го (верхнього) елемента; 2.2 – одночасне заповнення елементів конструкції рідиною; 2.3 – заповнення конструкції рідиною з 1-го (нижнього) елемента

За умови  $f_{01} < f_i$  та у разі прикладання зовнішнього навантаження  $P$  до  $(1+i)$ -го ПЗЕ конструкції, зсув незаповнених та наповнених елементів може відбуватися як між елементом, до якого прикладена сила  $P_{1+i}$  ( $i=1 \dots n$ ), та нижчим елементом  $i$ , так і між поверхнею 1-го елемента і поверхнею основи опираючого.

Користуючись рівнянням (4), побудована залежність сили, необхідної для зсуву елементів конструкції  $P = F_i$  (при  $f_{01} = 0,1$ ;  $f_i = 0,2$  та прикладанні зовнішнього навантаження  $P$  до кожного з ПЗЕ), від реакції опору  $N$  елементів ( $G_{en.(1 \dots 5)} = 2850$  Н;  $G_{p.(1 \dots 5)} = 18625$  Н) та з верхнього і нижнього напрямків наповнення їх рідиною відносно осі  $OY$ . Результати наведені на рис. 6, 7.

Особливість залежності сили, необхідної для зсуву елементів конструкції  $P = F$  при прикладанні

зовнішнього навантаження  $P$  до  $i$ -го ПЗЕ, від реакції опору  $N$  елементів та напрямку наповнення конструкції рідиною, яка наведена на рис. 6, 7, полягає в тому, що при прикладанні зовнішнього навантаження  $P$  до  $(1+i)$ -го (окрім 1-го) елемента, графік залежності змінюється з прямого на ламаний.

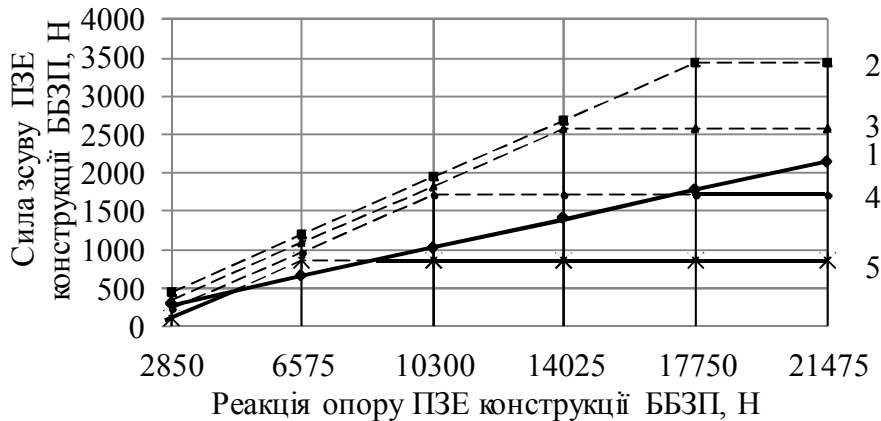


Рис. 6. Залежність сили, необхідної для зсуву ББЗП, від реакції опору  $N$  елементів з верхнього напрямку її наповнення рідиною при прикладанні зовнішнього навантаження  $P$  до елементів: 1 – першого; 2 – другого; 3 – третього; 4 – четвертого; 5 – п'ятого

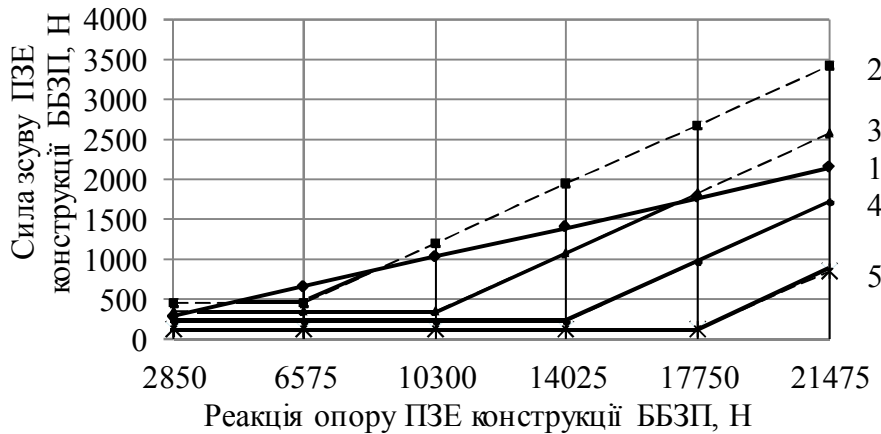


Рис. 7. Залежність сили, необхідної для зсуву ББЗП, від реакції опору  $N$  елементів з нижнього напрямку її наповнення рідиною при прикладанні зовнішнього навантаження  $P$  до елементів: 1 – першого; 2 – другого; 3 – третього; 4 – четвертого; 5 – п'ятого

У разі прикладання зовнішнього навантаження  $P$  до  $i$ -го ПЗЕ конструкції (зв'язок між елементами за допомогою з'єднувальних шипів), за умови  $P < P_{зр}$  відбувається зсув всієї конструкції ББЗП між поверхнею 1-го елемента та основи обпирання.

На основі ММ (5) побудована залежність сили, необхідної для зсуву елементів конструкції ББЗП зі з'єднувальними шипами, від реакції опору  $N$  елементів, яка наведена на рис. 8 (графік 1), за умов:  $f_{01}=0,5$ ;  $G_{ел.(1...5)}=2850$  Н;  $G_{р.(1...5)}=18625$  Н.

Таким чином, у випадку прикладання зовнішнього навантаження  $P$  до  $i$ -го ПЗЕ зі з'єднувальними шипами ( $P < P_{зр}$ ), сила, що необхідна для зсуву ББЗП, залежить від реакції опору  $N$  елементів та не залежить від напрямку їх наповнення рідиною.

За умови  $P \geq P_{зр}$  (зв'язок між елементами за допомогою з'єднувальних шипів) відбувається зсув всієї ББЗП з послідовним зрізом з'єднувальних шипів, у результаті чого відбувається зсув окремих ПЗЕ, до яких прикладається зовнішнє навантаження  $P$ .

На основі ММ (5) побудована залежність сили, необхідної для зсуву ПЗЕ зі з'єднувальними шипами при прикладанні зовнішнього навантаження  $P$  до 1 та 2-го елементів ББЗП, від реакції опору  $N$  елементів, яка наведена на рис. 8 (графік 2). Вихідними даними якої є:  $f_{0,1} = 0,5$ ;  $f_i = 0,2$ ;  $G_{ел.(1...5)} = 2850$  Н;  $G_{р.(1...5)} = 18625$  Н;  $\tau_{зр} = 0,3 \cdot 10^7$  Н/м<sup>2</sup>;  $D = 0,1$  м;  $d = 0,09$  м.

Отже, особливість залежності сили, необхідної для зсуву ПЗЕ конструкції  $P=F$  при прикладанні



зовнішнього навантаження  $P$  до  $i$ -го елемента (зв'язок за допомогою з'єднувальних шипів), від реакції опору  $N$  елементів полягає у зміні форми графіка залежності сили, яка спричиняє зсув між їхніми третьюми поверхнями з конструктивними з'єднаннями, від реакції опору  $P_{зр}$  елементів з прямої на ламану під час їх наповнення рідиною.

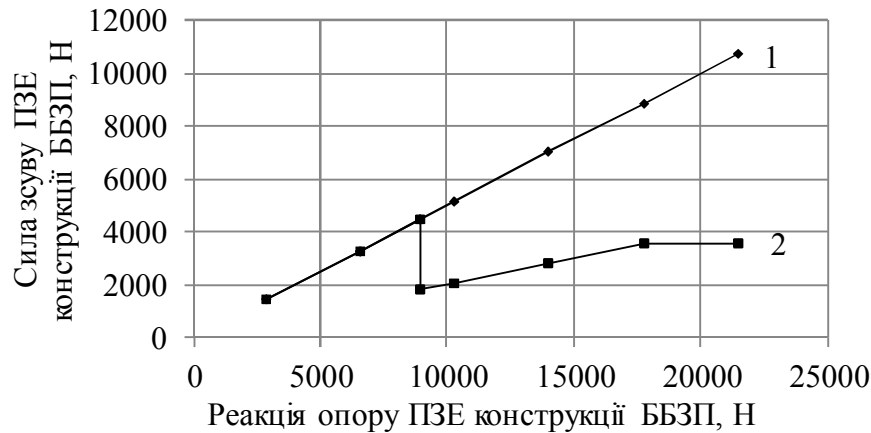


Рис. 8. Залежність сили, необхідної для зсуву ПЗЕ зі з'єднувальними шипами, від їх реакції опору  $N$  за умови  $P=P_{зр}$  під час прикладання зовнішнього навантаження  $P$  до елементів: 1 – першого; 2 – другого

На основі рівняння (7) побудовані залежності процесу перекидання окремих елементів конструкції у випадку прикладання зовнішнього навантаження  $P$  вздовж ББЗП на плечі ( $m = 1$  м) від сили ваги елементів ( $G_{ПЗЕ(1...5)} = 2850$  Н;  $G_{р(1...5)} = 18625$  Н) (рис. 9), координати прикладання зовнішнього навантаження  $P$  (рис. 10) та напрямку наповнення конструкції рідиною відносно площині  $ZOY$ . Розрахункова схема процесу наведена на рис. 2, б.

Особливість залежності сили, що утворює перекидний момент  $M_{п}$  конструкції при прикладанні зовнішнього навантаження  $P$  вздовж ББЗП на плече  $m$  між поверхнями ПЗЕ, від сили ваги  $G$  елементів та напрямку їх наповнення рідиною полягає в тому, що одному значенню сили ваги  $G$  елементів відповідає декілька значень сили, що утворює перекидний момент  $M_{п}$  окремих елементів конструкції.

Залежність зазначеної сили від координати її прикладання відносно площини  $ZOY$  має неоднозначний характер (див. рис. 10).

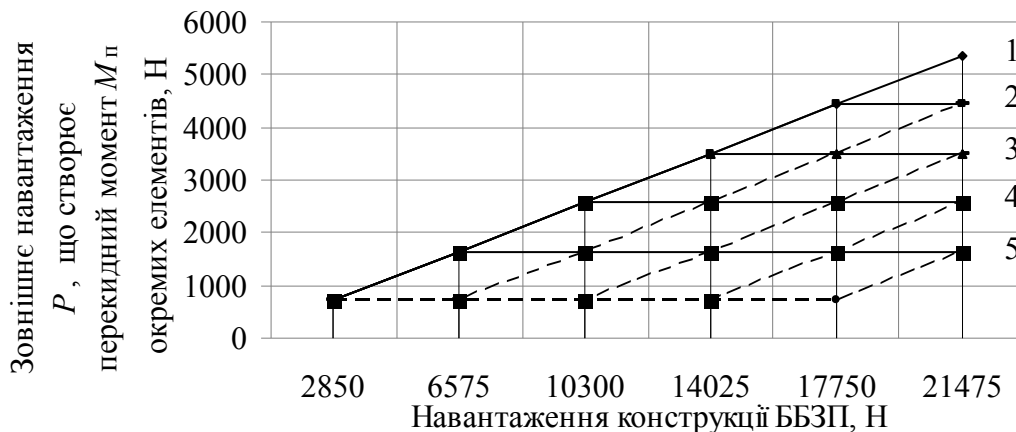


Рис. 9. Залежність сили, що створює перекидний момент окремих елементів конструкції, від зміни сили ваги  $G$  елементів та напрямку наповнення їх рідиною при прикладанні зовнішнього навантаження  $P$ :  
 1 – між основою опираючого та 1-м елементом; 2 – між 1 та 2-м елементами; 3 – між 2 та 3-м елементами;  
 4 – між 3 та 4-м елементами; 5 – між 4 та 5-м елементами

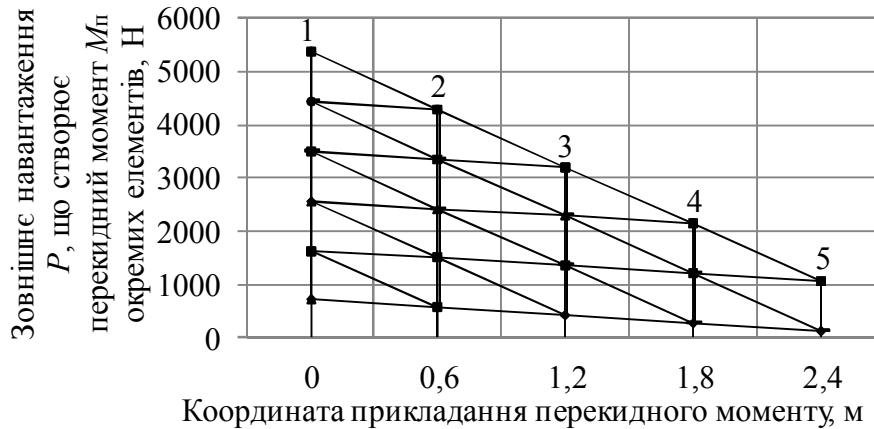


Рис. 10. Залежність сили, що створює перекидний момент окремих ПЗЕ конструкції, від координати прикладання зовнішнього навантаження  $P$ : 1 – між основою обпирання та 1-м елементом; 2 – між 1 та 2-м елементами; 3 – між 2 та 3-м елементами; 4 – між 3 та 4-м елементами; 5 – між 4 та 5-м елементами

На основі системи рівнянь (8) побудована залежність процесу перекидання БЗП під дією зовнішнього навантаження  $P$  на визначеній висоті  $l$  (0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 та 3 м) відносно площини  $ZOY$  від сили ваги ПЗЕ ( $G_{ПЗЕ(1...5)} = 2850$  Н;  $G_{Р(1...5)} = 18625$  Н). Розрахункова схема процесу наведена на рис. 2, в.

Результати (рис. 11) показують, що у разі збільшення  $l$  від 0,5 до 3 м сила, яка створює перекидний момент конструкції  $M_p$ , зменшується від 10737,5 до 1789,6 Н.

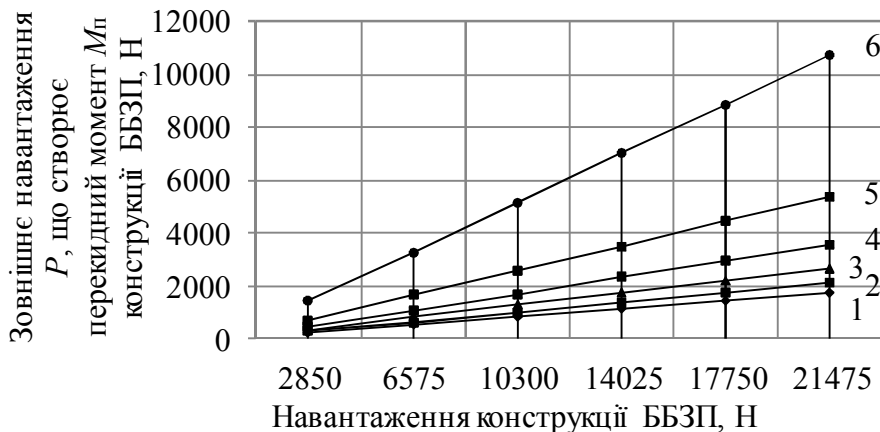


Рис. 11. Залежність сили, що створює перекидний момент  $M_p$  конструкції, від сили ваги елементів  $G$  при прикладанні зовнішнього навантаження  $P$  на висоті  $l$ : 1 – 3 м; 2 – 2,5 м; 3 – 2 м; 4 – 1,5 м; 5 – 1 м; 6 – 0,5 м

Для визначення моменту втрати стійкості БЗП у випадку прикладання сили  $P$  до  $i$ -го елемента за заданим рівнем заповнення конструкції рідиною порівнюють силу, яка спричиняє зсув елементів конструкції (див. рис. 5), і силу, що перекидає конструкцію (рис. 11). Наприклад, для випадку прикладання зовнішньої сили  $P$  до 2-го елемента конструкції значення максимальної сили  $P$ , необхідної для зсуву, дорівнює 1030 Н, значення сили  $P$ , необхідної для перекидання конструкції, дорівнює 1402,5 Н. Таким чином, матимемо зсув з 2 по 5-й ПЗЕ конструкції.

Залежності (рис. 4...11) визначення зсуву ПЗЕ і умов перекидання конструкції та її окремих елементів отримані за чисельним методом.

### Висновки

Отримані ММ (2), (4), (5), (7), (8) визначення стійкості БЗП рядного порядку побудови, на відміну від існуючих [11], дозволяють визначити величину сили, що спричиняє зсув та перекидання ПЗЕ у разі зміни напрямку і об'єму їх наповнення рідиною.

Подальші дослідження спрямовані на визначення стійкості БЗП інших варіантів конструкції, що надасть змогу визначити необхідні параметри ПЗЕ для використання їх силами охорони правопорядку під час припинення масових заворушень.

**Список використаних джерел**

1. Довбня В. В. Нормативно-правові основи застосування внутрішніх військ МВС України у внутрішніх збройних конфліктах / В. В. Довбня, І. О. Кириченко // Честь і закон. – Харків : Військ. ін-т ВВ МВС України, 2003. – № 1. – с. 3-6.
2. Про внутрішні війська МВС України : закон України від 26.03.1992 р. № 2235-ХІІ // Відомості Верховної Ради України. – 1992. – № 29. – Ст. 397.
3. Про правовий режим надзвичайного стану : закон України від 16.03.2000 р. № 1550-ІІІ // Відомості Верховної Ради України. – 2000. – № 23. – Ст. 176.
4. Сидоров А. Тактика действий подразделений и частей при пресечении массовых беспорядков в населенном пункте / А. Сидоров, Д. Наливалкин // На боевом посту. – 1973. – № 13. – С. 31–40.
5. Рощин С. К. Психология толпы: анализ прошлых исследований и проблемы сегодняшнего дня / С. К. Рощин // Психологический журнал. – 1990. – № 5. – С. 25–29.
6. Корниенко М. В. Деятельность органов внутренних дел по обеспечению правопорядка при осложнении оперативной обстановки / М. В. Корниенко. – М. : Московский ин-т МВД России, 2002. – 311 с.
7. Городнов В. П. Методи кількісної оцінки рішень та моделювання службово-бойових дій частин і підрозділів внутрішніх військ / В. П. Городнов. – Х. : Акад. ВВ МВС України, 2006. – 266 с.
8. Хараберюш І. Ф. Спеціальна техніка в органах внутрішніх справ / І. Ф. Хараберюш. – Д. : Донец. ін-т внутрішніх справ, 2002. – 204 с.
9. Про затвердження Статуту патрульно-постової служби міліції України : наказ Міністра внутрішніх справ від 28.07.1994 р. № 404.
10. А. с. 84217 Україна, МПК<sup>3</sup> F 41 Н 11/00. Захисна загороджувальна перешкода / А. В. Ковтун, О. І. Шаповалов, А. О. Іванченко (Україна). – № a200700679 ; заявл. 22.01.07 ; опубл. 25.09.08, Бюл. № 18.
11. Мур Д. Основы и применения трибоники / Д. Мур. – М. : Мир, 1978. – 478 с.
12. Ландау Л. Гидродинамика : 3-е изд., перераб. / Л. Ландау, Е. Лифшиц. – М. : Наука, 1986. – 736 с.
13. Колесникович А. Н. Виртуальные испытания транспортных средств на статическую устойчивость / А. Н. Колесникович, В. Б. Альгин, С. В. Харитончик // Повышение конкурентоспособности автотранспортных средств. – 2004. – С. 229–233.

*Стаття надійшла до редакції 21.03.2011 р.*