

УДК 351.754

О.І. Шаповалов

Академія внутрішніх військ МВС України, Харків

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ СТІЙКОСТІ БЛОЧНОЇ БАГАТОЯРУСНОЇ ЗАГОРОДЖУВАЛЬНОЇ ПЕРЕШКОДИ РЯДНОГО ПОРЯДКУ ПОБУДОВИ З РІДИНОЮ ПРИ ПРИКЛАДАННІ ЗОВНІШНЬОГО НАВАНТАЖЕННЯ

У статті запропоновано використання силами охорони правопорядку під час припинення масових заворушень нової блочної багатоярусної загороджувальної перешкоди. Наведена розрахункова схема блочної багатоярусної загороджувальної перешкоди рядного порядку побудови з рідиною на підставі якої побудована математична модель визначення стійкості конструкції при прикладанні зовнішнього навантаження. Наведені результати розрахунків.

Ключові слова: натовп, масові заворушення, сили охорони правопорядку, пустотілі з'єднувальні елементи (ПЗЕ), блочна багатоярусна загороджувальна перешкода (ББЗП), зовнішнє навантаження, процес наповнення рідиною, стійкість.

Вступ

Постановка проблеми. Одне із завдань, яке виконують сили охорони правопорядку 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]. Під час їх проведення можуть виникнути масові заворушення. В роботі [2] зазначається, що масові заворушення можуть виражатися дією великої кількості людей або натовпом, що супроводжуються вчиненням насильства, погромами, підпалами, знищенням майна, захопленням будівель або споруд, насильницьким виселенням громадян, опором представникам влади та іншими діями руйнівного характеру із застосуванням зброї або інших предметів, які використовуються як зброя.

Наведені данні свідчать про складність припинення масових заворушень та вимагають від сил охорони правопорядку ретельної підготовки у зв'язку з необхідністю протистояти учасникам заворушень [3, 4].

Результати аналізу масових заворушень показують, що учасники заворушень можуть використовувати для досягнення злочинних цілей як підручні (камені, шматки асфальту й плит, скляні пляшки, ланцюги, металеві прутки та ін. (рис. 1 а)), 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. (рис 1 б)), а також різні технічні засоби [5].

Важливою умовою припинення масових заворушень повинно бути зменшення травмування, як співробітникам правоохоронних органів так і учасникам заворушень, скорочення побічного збитку, що наноситься будівлям, підприємствам та інфраструктурі району в цілому.

В роботі [6] зазначається, що одним з способів припинення масових заворушень силами охорони правопорядку може виявитися блокування натиску натовпу через звуження проходів поблизу об'єктів охорони і на шляхах його прямування оперативно створеними перешкодами (переносними загороджувальними засобами, вантажними автомобілями та ін.).

Проведений аналіз існуючих загороджувальних засобів [7], які використовуються силами охорони правопорядку під час припинення масових заворушень свідчить про їх недоліки:



а



б

Рис. 1. Засоби нападу:
а – підручні; б – заздалегідь приготовлені

- учасники масових заворушень з легкістю їх розламують використовуючи, як засоби нападу;
- незначна висота, яку можна подолати шляхом стрибка або перелазом;
- їх прозорість, яка служить не скритністю перешикування особового складу сил охорони правопорядку;
- травмонебезпечність, як для учасників масових заворушень так і для особового складу правоохоронних органів;
- вимагають застосування для монтажу (демонтажу) додаткових технічних засобів та спеціально кваліфікованих спеціалістів.

Одним із шляхів усунення перелічених недоліків є застосування нових загороджувальних засобів, які б дозволяли:

- блокувати та не допускати учасників масових заворушень на заборонені ділянки території;
- створити загороджувальну конструкцію, що забезпечувала необхідну стійкість стосовно зрушення й удару;
- забезпечувати швидкий монтаж (демонтаж) загороджувальної конструкції для перекриття різних ділянок території;
- забезпечувати надійний захист особового складу сил охорони правопорядку під час виконання службово-бойових завдань;
- забезпечувати достатню травмобезпечність загородження стосовно учасників масових заворушень.

В роботі [8] в якості загороджувального засобу пропонується використання нової блочної багатоярусної загороджувальної перешкоди (ББЗП) (рис. 2), яка належить до загороджувальних засобів, а саме до технічних засобів перешкоджання руху людських мас. Сутність запропонованого загороджувального засобу полягає у використанні пустотілих з'єднувальних елементів (ПЗЕ) виготовлених з легкого, як приклад полімерного матеріалу, де фронтальна сторона елемента може бути посиленою здатною витримати удари та пробої учасників масових заворушень. ПЗЕ мають властивість наповнення рідиною для підвищення стійкості ББЗП. Використання даного загороджувального засобу надає можливість правоохоронним підрозділам зусиллями особового складу оперативно проводити установку ББЗП на визначених ділянках території. При цьому ББЗП використовується не тільки, як загороджувальний засіб але і як конструкція для захисту особового складу правоохоронних підрозділів від засобів нападу учасників масових заворушень. Також ББЗП надає можливість скритного перешикування правоохоронним підрозділам під час зміни тактики проведення операції.

Таким чином, розробка нового загороджувального засобу для використання силами охорони правопорядку під час припинення масових заворушень, є актуальною.

Метою даної статті є розробка математичної моделі визначення стійкості ББЗП рядного порядку побудови при наповненні ПЗЕ конструкції рідиною під час прикладання зовнішнього навантаження.

Основна частина

Запропонований в роботах [7, 8] новий загороджувальний засіб викликає необхідність в проведенні досліджень процесу взаємодії ПЗЕ конструкції ББЗП при різних ступенях та напрямках її наповнення рідиною під час прикладання зовнішнього навантаження.

Метою проведення теоретичних досліджень є:

1. Розроблення математичної моделі процесу наповнення ПЗЕ конструкції ББЗП рідиною.
2. Розроблення математичної моделі процесу взаємодії зовнішніх навантажень на ПЗЕ рядного порядку побудови ББЗП.

Для досягнення поставленої мети виникає необхідність в проведенні попередніх експериментальних дослідженнях, які дозволяють визначити характер взаємодії ПЗЕ конструкції рядного порядку побудови при різних ступенях та напрямках їх наповнення рідиною під час впливу на них зовнішнього навантаження.

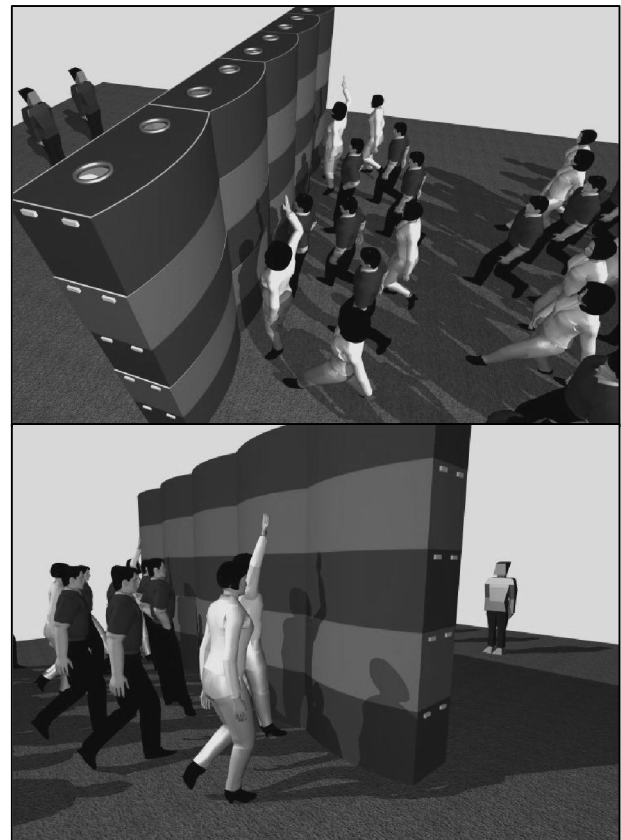


Рис. 2. Блочна багатоярусна загороджувальна перешкода рядного порядку побудови

Попередні експериментальні дослідження проводились на установці, яка була наведена в роботі [9]. В результаті проведення попередніх експериментальних дослідження були отримані такі результати:

1. Встановлена особливість залежності сили тертя між ПЗЕ конструкції від напрямку наповнення БЗП рідиною.

2. Розкрита закономірність впливу кількості поверхонь взаємодіючих ПЗЕ конструкції на величину сили тертя між ними.

Для дослідження процесу взаємодії ПЗЕ конструкції БЗП при різних ступенях та напрямках її наповнення рідиною під час прикладання зовнішнього навантаження було складено розрахункову схему, яка наведена на рис. 3.

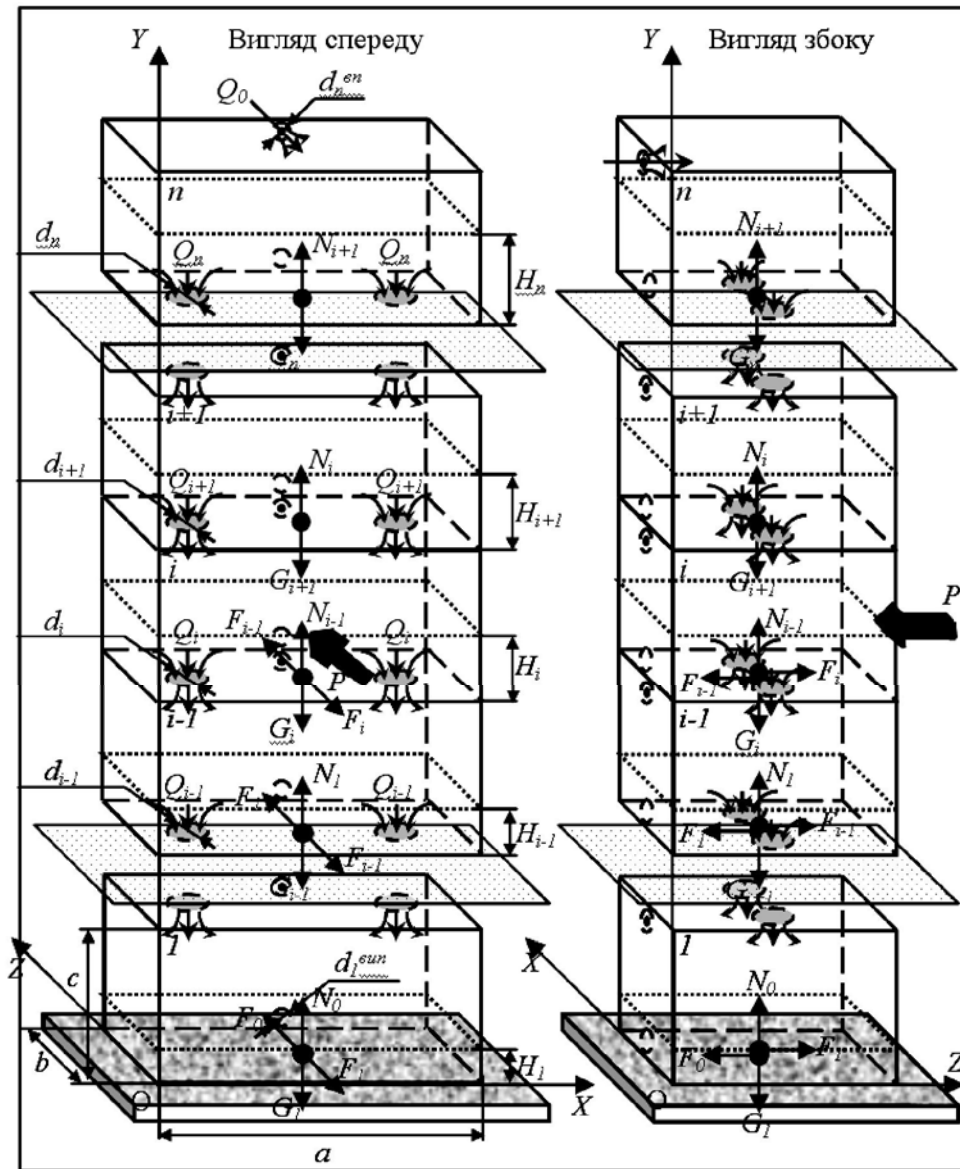


Рис. 3. Розрахункова схема процесу взаємодії ПЗЕ конструкції БЗП рядного порядку побудови при прикладанні зовнішнього навантаження під час наповнення рідиною

На розрахунковій схемі показані ПЗЕ (1, ..., i-1, i, i+1, ..., n) конструкції БЗП, сили тертя F , які виникають при прикладанні зовнішнього навантаження P , сили тяжіння ПЗЕ G , а також сили нормальної реакції опори N . Q – розхід рідини, m^3/c ; N – рівень рідини на кожному ярусі конструкції, m .

Математичне описання по визначенню стійкості конструкції БЗП включає в себе дві складові.

Першою складовою математичної моделі по визначенню стійкості БЗП при прикладанні зовнішнього навантаження P буде математична модель процесу наповнення ПЗЕ конструкції рідиною. При дос-

лідженні даного процесу були застосовані відомі вирази [10, 11], які дозволили отримати математичну модель наповнення ПЗЕ конструкції БЗП рідиною.

Враховуючи складність математичного описання даного процесу необхідним є прийняття допущень:

- приймемо, що рідина в ПЗЕ є нестисненою та немає в'язкості;
- тиск повітря в ПЗЕ конструкції БЗП під час їх наповнення рідиною приймемо атмосферним.

Для даного випадку математична модель процесу наповнення ПЗЕ конструкції БЗП рідиною (1) має такий вигляд:

$$\left. \begin{aligned}
 &\text{для верхнього ПЗЕ конструкції ББЗП:} \\
 &Q_0 dt - \mu_{i+1}(t) \cdot \omega_{i+1} \sqrt{2g \cdot [H_{i+1}(t) + l_{i+1}(t)]} dt = SdH_{i+1}(t); \\
 &\dots \\
 &\mu_{i+1}(t) \cdot \omega_{i+1} \sqrt{2g \cdot [H_{i+1}(t) + l_{i+1}(t)]} dt - \mu_i(t) \cdot \omega_i \sqrt{2g \cdot [H_i(t) + l_i(t)]} dt = SdH_i(t); \\
 &\dots \\
 &\text{для 1-го (нижнього) ПЗЕ конструкції ББЗП:} \\
 &\mu_i(t) \cdot \omega_i \sqrt{2g \cdot [H_i(t) + l_i(t)]} dt = SdH_{i-1}(t),
 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де l – ділянка від площини днища до площини максимального стискання струменя, м.; μ – коефіцієнт розходу; ω – площа перетину стикувального отвору в ПЗЕ, м²; S – площа ПЗЕ, м²; t – час заповнення конструкції ББЗП рідиною, с; g – прискорення вільного падіння, м/с².

Другою складовою математичної моделі визначення стійкості ББЗП є математичні моделі зсуву ПЗЕ та перекидання конструкції при прикладанні зовнішнього навантаження P .

При побудові математичної моделі процесу зсуву пустотілих з'єднувальних елементів та перекидання конструкції блочної багатоярусної загороджувальної перешкоди рядного порядку побудови під час прикладання зовнішнього навантаження P необхідним є прийняття допущень:

$$P = F_i;$$

без фіксації ПЗЕ конструкції ББЗП:

– при прикладанні зовнішнього навантаження P до нижнього (першого) ПЗЕ конструкції ББЗП:

$$F_1 = \left[f_{1,0}(N) \cdot \left(N_{ел.1} + \sum_{i=1}^n N_{ел.i} \right) + \left(SdH_1(t) + \sum_{i=1}^n SdH_i(t) \right) \cdot \rho \cdot g \right];$$

– при прикладанні зовнішнього навантаження P до $(1+i)$ -го ПЗЕ конструкції ББЗП:

$$F_{1+i} = \left[f_{1+i,i}(N) \cdot \left(\sum_i N_{ел.1+i} + \sum_i SdH_{1+i}(t) \cdot \rho \cdot g \right) + f_{1,0}(N) \cdot (N_{ел.1} + SdH_1(t) \cdot \rho \cdot g) \right];$$

з фіксацією ПЗЕ конструкції ББЗП:

$$F_i = \left[f_{i,i-1}(N) \cdot \left(\sum_{i=1}^n N_{ел.i} + \sum_{i=1}^n SdH_i(t) \cdot \rho \cdot g \right) + f_{ел.ф.,1+i}(N) \cdot (N_{ел.ф.} + SdH_{ф.}(t) \cdot \rho \cdot g) \right],$$

де f – коефіцієнт тертя; ρ – щільність рідини, кг/м³.

Початкові умови:

$$t = 0; H_i = 0 \text{ м.}$$

В основі методики визначення коефіцієнту стійкості ББЗП при перекиданні $\tau_{СТ.П}$ використовується співвідношення перекидаючих $M_{П}$ та стабілізуючих $M_{С}$ моментів [13]:

$$\tau_{СТ.П} = \frac{M_{С}}{M_{П}}.$$

Умова збереження стійкості конструкції ББЗП від перекидання при прикладанні зовнішнього навантаження P досягається співвідношенням: $M_{С} \geq M_{П}$.

При визначенні коефіцієнту стійкості $\tau_{СТ.П}$ конструкції ББЗП при даній методиці розрахунку використовуються характеристики геометричних

– зовнішня сила навантаження прикладається до i -го ПЗЕ конструкції ББЗП;

– зсув i -го ПЗЕ конструкції ББЗП відбувається в площині XOZ;

– сила тертя між ПЗЕ підпорядковується закону Амонтана-Кулона [12].

Для визначення стійкості ББЗП при зсуві ПЗЕ визначається коефіцієнт $\tau_{СТ.З}$, який складається з співвідношення сили тертя F та максимального зовнішнього навантаження P_{max} :

$$\tau_{СТ.З} = F_i / P_{max}.$$

Загальна математична модель процесу зсуву ПЗЕ (2) при зміні напрямку та ступеню наповнення конструкції ББЗП рідиною без та при фіксації ПЗЕ верхнього ряду має вигляд:

$$\left. \begin{aligned}
 &\text{– при прикладанні зовнішнього навантаження } P \text{ до нижнього (першого) ПЗЕ конструкції ББЗП:} \\
 &F_1 = \left[f_{1,0}(N) \cdot \left(N_{ел.1} + \sum_{i=1}^n N_{ел.i} \right) + \left(SdH_1(t) + \sum_{i=1}^n SdH_i(t) \right) \cdot \rho \cdot g \right]; \\
 &\text{– при прикладанні зовнішнього навантаження } P \text{ до } (1+i)\text{-го ПЗЕ конструкції ББЗП:} \\
 &F_{1+i} = \left[f_{1+i,i}(N) \cdot \left(\sum_i N_{ел.1+i} + \sum_i SdH_{1+i}(t) \cdot \rho \cdot g \right) + f_{1,0}(N) \cdot (N_{ел.1} + SdH_1(t) \cdot \rho \cdot g) \right]; \\
 &\text{з фіксацією ПЗЕ конструкції ББЗП:} \\
 &F_i = \left[f_{i,i-1}(N) \cdot \left(\sum_{i=1}^n N_{ел.i} + \sum_{i=1}^n SdH_i(t) \cdot \rho \cdot g \right) + f_{ел.ф.,1+i}(N) \cdot (N_{ел.ф.} + SdH_{ф.}(t) \cdot \rho \cdot g) \right],
 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

параметрів конструкції та розташування центру мас, які визначають межі статичної стійкості. Розрахункова схема процесу перекидання конструкції ББЗП в площині OZ при прикладанні зовнішнього навантаження наведена на рис. 4.

Загальна математична модель визначення стійкості конструкції ББЗП при перекиданні (3) під час прикладання зовнішнього навантаження P має вигляд:

$$M_{С} = \left(\sum_{i=1}^n G_{ел.i} + \left(\sum_{i=1}^n SdH_i(t) \cdot \rho \cdot g \right) \right) \cdot \frac{b_1}{2}, \quad (3)$$

$$M_{П} = P \cdot L$$

де b – ширина ПЗЕ, м; L – координата прикладання зовнішнього навантаження P , м.

Початкові умови: $t = 0; H_i = 0$ м.

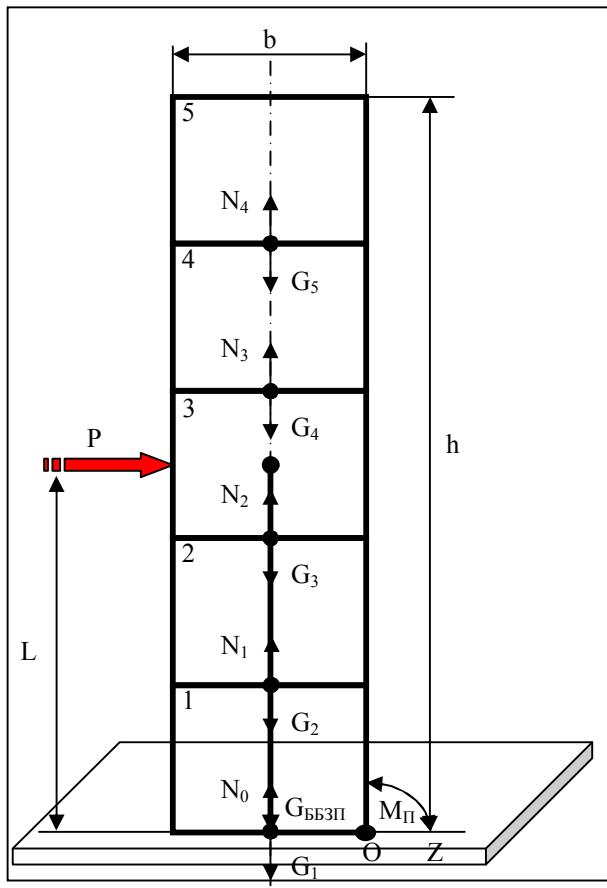


Рис. 4. Розрахункова схема процесу перекидання конструкції ББЗП при прикладанні зовнішнього навантаження Р

За допомогою наведених математичних моделей (1 – 3) визначимо залежність сили тертя F від величини сили тяжіння G і напрямку наповнення конструкції ББЗП рідиною при наступних вихідних даних: довжина ПЗЕ $a = 1,2$ м.; ширина ПЗЕ $b = 0,5$ м.; висота ПЗЕ $c = 0,6$ м.; прискорення вільного падіння $g = 9,81$ м/с²; - щільність рідини $\rho_p = 1000$ кг/м³; щільність матеріалу ПЗЕ $\rho_{ел} = 1080$ кг/м³; розхід подачі рідини в ПЗЕ $Q_{под} = 0,004$ м³/с; діаметри з'єднувальних отворів ПЗЕ: 2-го $d_2 = 48,3$ мм; 3-го $d_3 = 45,2$ мм; 4-го $d_4 = 39,3$ мм; 5-го $d_5 = 29,2$ мм; початковий рівень рідини в ПЗЕ $H = 0$ м.

Рішення рівнянь (1 – 3) при визначенні зсуву проводились чисельним методом.

За допомогою наведених математичних моделей (1 – 3) було отримано ряд лінійних залежностей (рис. 5 – 7) сили тертя F між ПЗЕ при прикладанні зовнішнього навантаження P до ББЗП при умові, що ПЗЕ приймемо твердим тілом де деформацією при їх навантаженні (наповненні рідиною) зневажаємо.

На рис. 5 наведена залежність максимальної сили тертя F покою між першим (нижнім) ПЗЕ та поверхнею основи при прикладанні зовнішнього навантаження P до 1-го (нижнього) ПЗЕ від сили реакції опори N при заповненні конструкції ББЗП рідиною.

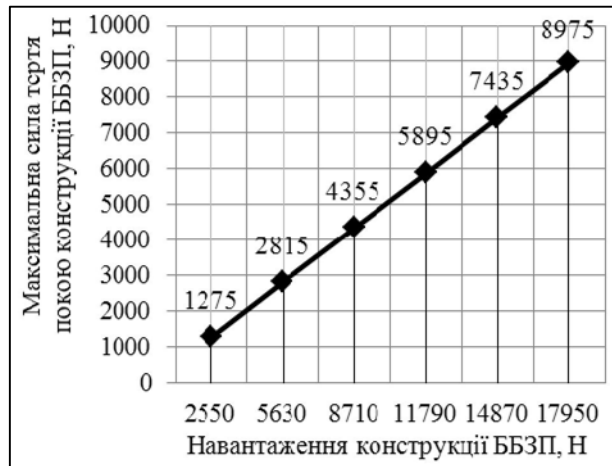


Рис. 5. Залежність максимальної сили тертя F покою ББЗП при прикладанні зовнішнього навантаження P від сили реакції опори ПЗЕ N

На рис. 6 наведена залежність максимальної сили тертя F покою ПЗЕ при прикладанні зовнішнього навантаження P до ПЗЕ від сили реакції опори N та напрямку наповнення конструкції ББЗП рідиною.

На рис. 7 наведена залежність максимальної сили тертя F покою між поверхнею п'ятого (верхнього) та першим (нижнім) ПЗЕ при прикладанні зовнішнього навантаження P до ПЗЕ від сили реакції опори N конструкції ББЗП та при зафіксованому верхньому ПЗЕ.

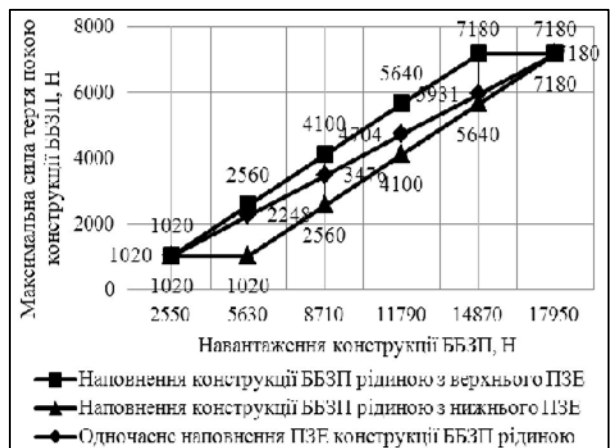


Рис. 6. Залежність максимальної сили тертя F покою ПЗЕ при прикладанні зовнішнього навантаження P від сили реакції опори N та напрямку наповнення конструкції ББЗП рідиною

З урахуванням деформації ПЗЕ при їх навантаженні (наповненні рідиною) була побудована нелінійна залежність максимальної сили тертя F покою ББЗП при прикладанні зовнішнього навантаження P до ПЗЕ від сили реакції опори N та напрямку наповнення конструкції ББЗП рідиною (рис. 8).

Особливістю наведених на рис. 6, 8 залежностей є те, що одному значенню сили реакції опори N відпоком наповнення ПЗЕ конструкції ББЗП рідиною.



Рис. 7. Залежність максимальної сили тертя F покою ПЗЕ при прикладанні зовнішнього навантаження P від сили реакції опори N та при зафіксованому верхньому ПЗЕ

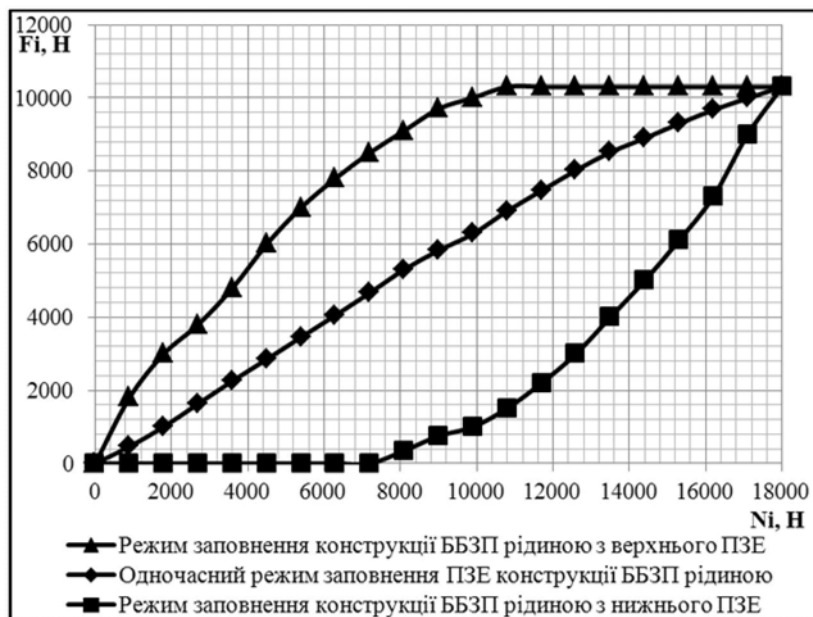


Рис. 8. Залежність максимальної сили тертя F покою ПЗЕ при прикладанні зовнішнього навантаження P від сили реакції опори N та напрямку наповнення конструкції ББЗП рідиною

Висновки

В статті отримані математичні моделі визначення стійкості ББЗП рядного порядку побудови, які на відміну від відомих дозволяють визначити величину сили тертя F між ПЗЕ при зміні напрямку і ступеня їх наповнення рідиною та при фіксації верхнього раду конструкції ББЗП та результати розрахунків, які свідчать про можливість застосування ББЗП при використанні правоохоронним підрозділам під час припинення масових заворушень.

Подальші дослідження спрямовані на визначення стійкості ББЗП при інших варіантах побудови конструкції, що надаватимуть змогу визначити необхідні параметри ПЗЕ для використання правоохоронним підрозділам під час припинення масових заворушень.

Список літератури

1. Кириченко І.О. Нормативно-правові основи застосування внутрішніх військ МВС України у внутрішніх збройних конфліктах / І.О. Кириченко, В.В. Довбня // *Честь і закон*. – Х.: Військ. ін-т ВВ МВС України, 2003. – № 1. – С. 3-6.
2. Сидоров А. Тактика дійсвий подразделений и частей при пересечении массовых беспорядков в населенном пункте / А. Сидоров, Д. Наливалкин // *На боевом посту*. – М.: Издательство политуправление ВВ МВД СССР, 1973. – № 13. – С. 31-40.
3. Ронин Р. Толпа как оружие / Р. Ронин // *Солдат удачи*, 2001. – № 3 [78]. – С. 32-34.
4. Корниенко М.В. Деятельность органов внутренних дел по обеспечению правопорядка при осложнении оперативной обстановки. – М.: Московский институт МВД России, 2002.
5. На боевом посту. – М.: Издательство политуправления ВВ МВД СССР, июль 1990. – С. 47-49.

6. Городнов В.П. Методи кількісної оцінки рішень та моделювання службово-бойових дій частин і підрозділів внутрішніх військ: навч. посібн. – Х.: Акад. ВВ МВС України, 2006. – 266 с.

7. Шаповалов О.І., Іванченко А.О. Застосування пустотілих з'єднувальних блоків під час припинення масових заворушень / О.І. Шаповалов, А.О. Іванченко // Вісник – Х.: Національний технічний університет, 2007. – № 42. – С. 45.

8. Пат. 84217 Україна, F 41 H 11/00. Захисна загорода жувальна перешкода; заявник та патентовласник Ковтун А.В., Шаповалов О.І., Іванченко А.О. – № а200700679; заявл. 22.01.2007; опубл. 25.09. 2008, Бюл. № 18.

9. Збірник наукових праць № 39. Частина II. – Хмельницький: Видавництво Національної академії Державної прикордонної служби України імені Б. Хмельницького, 2007. – 245 с.

10. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / под ред. М.О. Штейнберга. 3-е изд., пере-

рабочее и дополненное. – М.: Машиностроение, 1992. – 146 с.

11. Биргоф Г. Гидродинамика. Методы. Факты. Подобие. Перевод со второго переработанного английского издания И.Б. Погребысского / Под ред. М.И. Гуревича и В.А. Смирнова. Издательство иностранной литературы. – М.: 1963. – 76 с.

12. Крагельский И.В. Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.

13. Колесникович А.Н., Альгин В.Б., Харитончик С.В. Виртуальные испытания транспортных средств на статическую устойчивость. / Повышение конкурентоспособности автотранспортных средств: Сб. науч. Тр./НИРУП «Белавотракторостроение» / Ред. кол.: М.С. Высоцкий и др. – Мн., 2004. – 233 с.

Надійшла до редколегії 17.03.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.П. Кондратенко, Академія внутрішніх військ МВС України, Харків.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ БЛОЧНОГО МНОГОЯРУСНОГО ЗАГРАДИТЕЛЬНОГО ПРЕПЯТСТВИЯ РЯДНОГО ПОРЯДКА ПОСТРОЕНИЯ С ЖИДКОСТЬЮ ПРИ ПРИЛОЖЕНИИ ВНЕШНЕЙ НАГРУЗКИ

А.И. Шаповалов

В статье предложено использование силами охраны правопорядка вовремя предотвращения массовых беспорядков нового блочного многоярусного заградительного препятствия. Показана расчетная схема блочного многоярусного заградительного препятствия рядного порядка построения с жидкостью на основании которой построена математическая модель определения устойчивости конструкции при приложении внешней нагрузки. Показаны результаты расчетов.

Ключевые слова: толпа, массовые беспорядки, силы охраны правопорядка, пустотелые соединительные элементы, блочное многоярусное заградительное препятствие, внешняя нагрузка, процесс наполнения жидкостью, устойчивость.

THE MATHEMATICAL MODEL OF DEFINING STABILITY OF THE SECTIONAL MULTITIER OBSTRUCTIVE IMPEDIMENT WITH LIQUID, CONSTRUCTED IN A SERIE ORDER UNDER THE OUTER LOAD

A.I. Shapovalov

The article suggests a new sectional multitier obstructive impediment usage during the prevention of mass riots by the police. Here is presented the design model of sectional multitier obstructive impediment with liquid, constructed in a serie order on basis of which is build up the mathematical model of defining stability of the construction under the outer load. The results of the calculation are presented in the article.

Keywords: crowd, mass riots, police, hollow connecting objects, sectional multitier obstructive impediment, outer load, process of filling with liquid, stability.