

## Список літератури

1. Бондарь В.А. Система Load-Sensing в сельскохозяйственной технике / В.А. Бондарь // Вибрации в технике и технологиях. – Вінниця: ВДАУ, 2003. – №4 (30). – С.19-25.
2. Козлов Л.Г. Вдосконалення системи керування гідроприводів з LS-регулюванням: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.03 / Козлов Леонід Геннадійович – Вінниця, 2000 р. – 320 с.
3. Лозінський Д.О. Дослідження стійкості роботи пропорційного електрогідравлічного розподільника з незалежним керуванням потоками / Д.О. Лозінський, С.В. Репінський, О.В. Петров // Промислова гідравліка і пневматика. – Вінниця: ВНАУ, 2012. – №3(37). – С.87-90.
4. Петров О.В. Формування величини зрівноважувального перепаду тиску в гідроприводі, чутливого до навантаження, на базі мультирежимного гідророзподільника / О.В. Петров, Л.Г. Козлов // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – №2.– С.179-184.
5. Попов Д.Н. Нестационарные гидромеханические процессы / Д.Н. Попов. – М.: Машиностроение, 1982. – 240 с.

УДК 630\*377.4

**О. С. Мачуга, к. ф.-м. н, доц.,  
Ю. О. Дацюк, магістр**

*Національний лісотехнічний університет України*

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ПОПЕРЕЧНОЇ ТА ПОЗДОВЖНЬОЇ ВТРАТИ СТІЙКОСТІ МАШИНАМИ ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ РІДИН НА УХИЛІ**

Експлуатація мобільних машин та механізмів, які рухаються пересіченою місцевістю, пов'язується із небезпекою втрати такими об'єктами поперечної та поздовжньої стійкості. Така небезпека посилюється у випадку наявності локальних стохастичних заглибин чи перешкод на поверхні руху, які спричиняються до раптових непередбачених змін положення машини відносно горизонтальної площини. Цей фактор у значній мірі обмежує вибір швидкісних режимів, завдаючи певних обмежень на продуктивність зазначених машин.

Вказані вище небезпеки стосуються мобільної техніки, яка експлуатується на необроблених ґрунтових поверхнях. Це – лісозаготівельні [1], сільськогосподарські [2], дорожньо - будівельні [3] машини, а також машини спеціального призначення [4]. Особливо ретельно слід досліджувати допустимі експлуатаційні режими машин, призначених для перевезення рідинних сумішей, розміщених у великогабаритних ємностях: автоцистерни, бетоновози, обприскувачі для хімічного захисту рослин та внесення рідких добрив тощо. Додаткові небезпеки, пов'язані із втратою поперечної та поздовжньої стійкості, виникають унаслідок гідродинамічних ефектів, які виявляються можливістю переміщення рідинних мас всередині резервуара під час наїзду машини чи самохідного механізму на випадкову перешкоду. Такі гідродинамічні ефекти підсилюються у випадку, коли резервуар не повністю заповнений рідиною, що посилює рухливість рідини відносно центру мас машини в цілому. Вказаний ефект є характерним для обприскувачів та пожежних самохідних механізмів.

Метою даної роботи є розроблення методики виявлення граничних з огляду на втрату поперечної та поздовжньої стійкості на прикладі машини спеціального призначення типу ГПМ 72.

### Постановка задачі та основні результати.

Розглядається гусеничний самохідний механізм із циліндричним резервуаром, який може бути порожнім, частково заповненим або повністю заповненим рідиною. Механізм рухається площиною, яка має ухил  $\alpha$  до горизонтальної площини (рисунок 1).

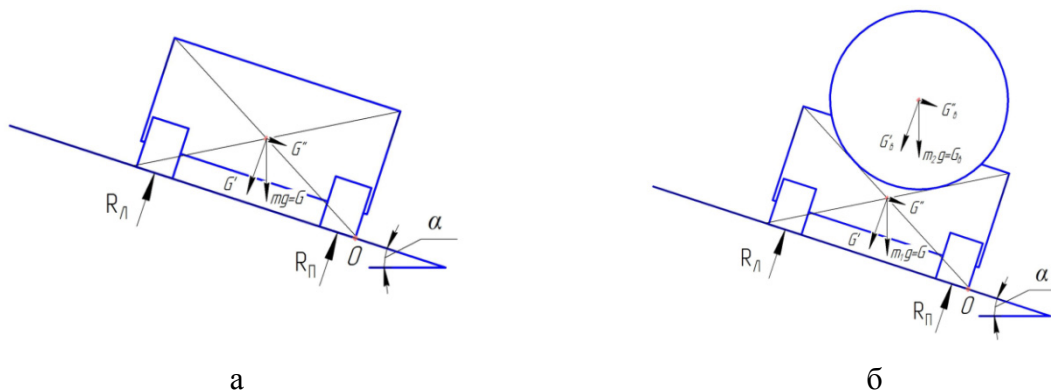


Рисунок 1 – Схема руху самохідного гусеничного механізму площиною з ухилом  $\alpha$  до горизонту; а – порожня цистерна, б – цистерна заповнена водою.

На рисунку застосовано наступні позначення:  $G = mg$  - вага механізму із порожньою цистерною,  $m$  - його маса,  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$  - пришвидшення вільного падіння,  $G_a = m_a g$  - вага води заповненого резервуару,  $m_a$  - маса води в резервуарі,  $R_E, R_P$  - ліва та права реакції опорної поверхні, точка  $O$  – центр опорної площадки правої опори. Величини  $G$  із штрихом вказують на нормальну до поверхні руху складову, величини із двома штрихами – на дотичну складову.

Умова перекидання механізму на дорозі з боковим ухилом  $\alpha$ :  $R_L = 0$ . Для визначення  $R_L$  у випадку порожньої цистерни, розглядається сума моментів відносно однієї з опор (точка  $O$ , рисунок 1а):

$$\sum mom_O = -R_E B - Gh_g \sin \alpha + G \frac{B}{2} \cos \alpha = 0 \quad (1)$$

де  $B$  - ширина колії по центру сліду гусениці,  $h_g$  - висота центру мас механізму із порожньою цистерною. Для визначення кута  $\alpha$  із рівняння (1) узято технічні характеристики машини ГПМ 72 [4]. Граничний кут з огляду на втрату поперечної стійкості в цьому випадку становить  $\alpha = 25^\circ$ .

У випадку, коли цистерна повністю заповнена водою (рисунок 1б), рівняння рівноваги моментів набуде вигляду:

$$\sum mom_O = -R_E B - Gh_g \sin \alpha + G \frac{B}{2} \cos \alpha - G_a (h_g + \Delta h) \sin \alpha + G_a \frac{B}{2} \cos \alpha = 0 \quad (2)$$

де  $\Delta h$  - відстань від центра мас механізму із порожньою цистерною до центра мас води в цистерні. У цьому випадку граничний кут з огляду на втрату поперечної стійкості механізму на ухилі, визначений із (2), зменшується і складає  $\alpha = 23^\circ$ .

У випадку, коли цистерна заповнена водою наполовину, розрахункова схема набуде вигляду, поданому на рисунку 2:

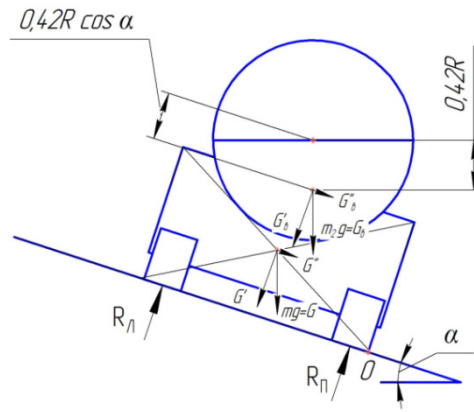


Рисунок 2 – Розрахункова схема для наполовину заповненої цистерни.

Рівняння рівноваги моментів записується наступним чином:

$$\sum mom_O = -R_{\text{л}} B - Gh_g \sin \alpha + G \frac{B}{2} \cos \alpha - G_a (h_g + \Delta h') \sin \alpha + G_a \left( \frac{B}{2} - 0,42R \sin \alpha \right) \cos \alpha = 0$$

де  $\Delta h'$  - відстань від центра мас механізму із порожньою цистерною до центра мас води, що займає нижню половину цистерни. Звідси отримується наступний вираз:

$$tg \alpha = \frac{G \frac{B}{2} + \frac{G_a}{2} \left( \frac{B}{2} - 0,42R \sin \alpha \right)}{Gh_g + \frac{G_a}{2} (h_g + (\Delta h - 0,42R \cos \alpha))} \quad (3)$$

Для визначення кута  $\alpha$  із відношення (3) застосовано метод послідовних наближень із початковим значенням  $\alpha_0 = 23^\circ$ . Після двох ітерацій отримано  $\alpha = 24^\circ$ , що характеризує дещо вищу поперечну стійкість, ніж повністю заповнена цистерна.

Значна небезпека для самохідного механізму, що транспортує рідину у наполовину заповненій цистерні, є наїзд одним із бортів на одиничну перешкоду (заглиблення рельєфу). Унаслідок рухливості вода в цистерні може зайняти положення, зображене на рисунку 3а.

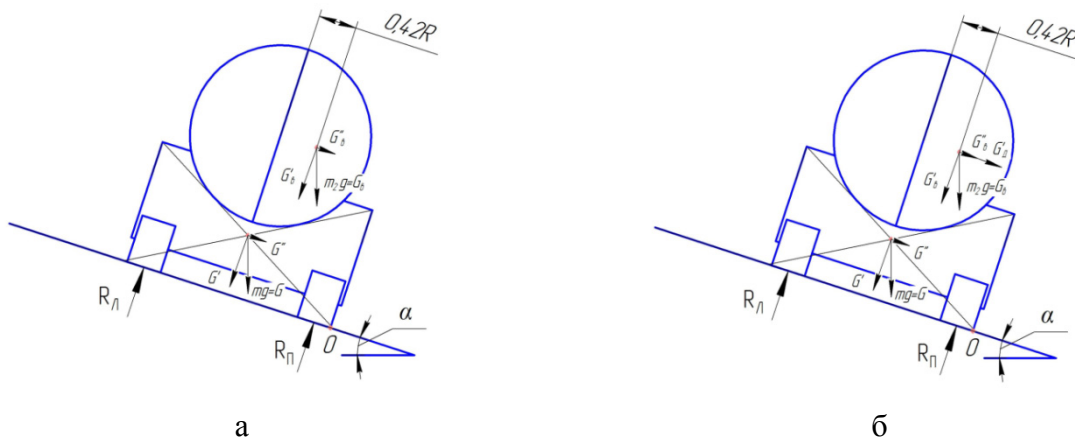


Рисунок 3 – Розрахункова схема у випадку перехилення механізму із наполовину заповненою цистерною у випадку а – відсутніх гідродинамічних ефектів, б – у випадку дії сил інерції води  $G_{\text{л}}$ .

Для такого випадку розпрацьована методика дозволяє визначити граничне значення кута  $\alpha = 12^\circ$ , що є значно меншим, аніж у випадку статичного руху механізму. Слід відзначити, що такий випадок є в певній мірі ідеалізованим, оскільки вода в цистерні, займаючи вказане на рисунку 3а положення, набуває інерційного руху, викликаного раптовим перехиленням механізму. Сила інерції водної маси  $G'_A = m_a a$  є додатковим фактором, що ще в більшій мірі знижує граничне значення кута поперечної стійкості. Тут  $a$  - поперечне пришвидшення водної маси. Рівняння рівноваги моментів для випадку урахування гідродинамічних ефектів взаємодії рідини із цистерною, які виявляються у виникненні сил інерції (рисунок 3б), записано наступним чином:

$$\sum mom_O = -R_E B - Gh_g \sin \alpha + G \frac{B}{2} \cos \alpha - \frac{G_a}{2} (h_g + \Delta h) + \frac{G_a}{2} \left( \frac{B}{2} - 0,42R \right) - G'_A = 0. \quad (4)$$

Із (4) отримано залежність граничного кута поперечної стійкості  $\alpha$  від пришвидшення  $a$ :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{G \frac{B}{2} + \frac{G_a}{2} \left( \frac{B}{2} - 0,42R \right) - \frac{G_a}{2} (h_g + \Delta h) - m_a a}{G h_g}. \quad (5)$$

На рисунку 4 подано значення  $\alpha$  для малих та середніх значень пришвидшення  $a$ . Відзначимо, що у випадку малих пришвидшень (рисунок 4 а), граничний кут поперечної стійкості практично не залежить від таких пришвидшень. Однак у цьому випадку не слід очікувати інтенсивного бокового переміщення води в цистерні аж до зайняття нею положення, показаного на рисунку 3, тому цей випадок є практично неможливий.

За середніх величин пришвидшень (рисунок 4 б), збудована графічна залежність свідчить, що граничний кут стійкості наполовину заповненої цистерни із збільшеним пришвидшенням водної маси зменшується. За значень  $a \leq 1 - 1,5 \text{ м/с}^2$ , вода в цистерні може не створювати динамічних ефектів. Тому у реальній ситуації граничні кути у залежності від бокового пришвидшення  $a$  можуть мати такий вигляд, як штрихова лінія на рисунку. Відзначимо, що на рисунку 4 показано значення граничних кутів стійкості для розглянутих вище задач: точка  $A_0$  відповідає граничному куту стійкості механізму із порожньою цистерною,  $A_1$  – із повною цистерною,  $A_2$  – із наполовину заповненою,  $A_3$  – ідеалізований випадок бокового розміщення води під час статичного руху механізму.

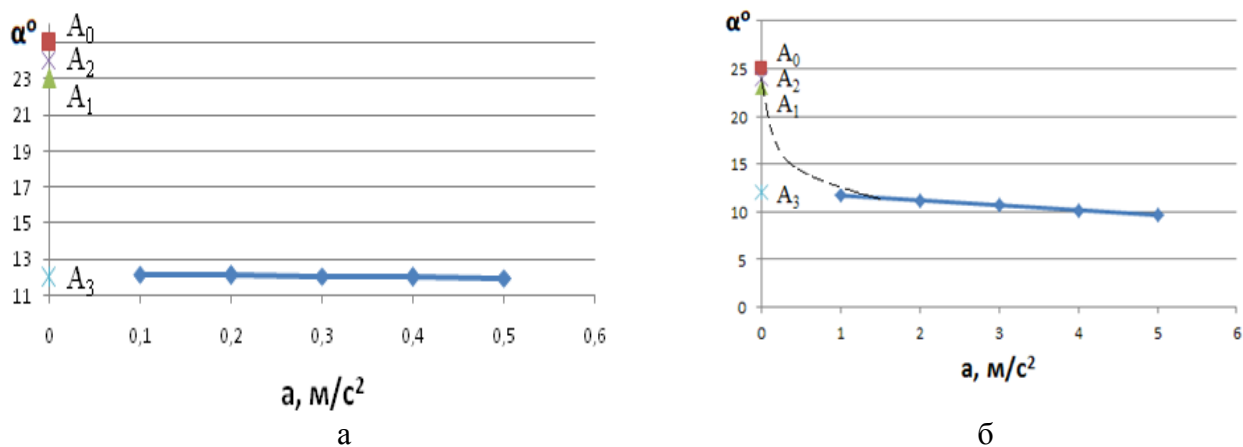


Рисунок 4 – Залежність граничного кута стійкості від пришвидшення води в цистерні: а – малі пришвидшення; б – середні пришвидшення.

Характер залежності кута  $\alpha$  від великих пришвидшень подано на рисунку 5.

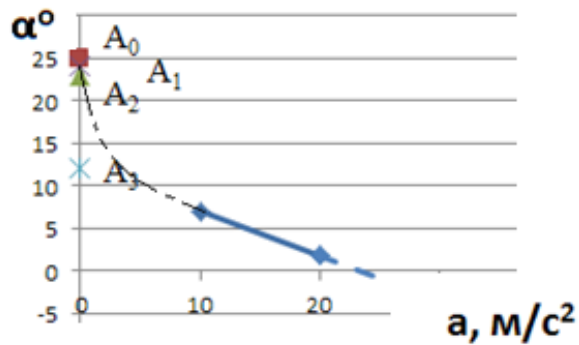


Рисунок 5 – Залежність граничного кута стійкості від великих пришвидшень води в цистерні.

Практичне застосування результатів, поданих на графіках, є утрудненим, оскільки під час статичного руху механізму складно спрогнозувати величину бокового пришвидшення об'єму води в цистерні. На рисунку 5 а, б подано розрахункову схему визначення величини пришвидшення  $a$  від швидкості руху механізму, який заїжджає в заглиблення рельєфу та залежність (в) кута  $\alpha$  від швидкості руху механізму.

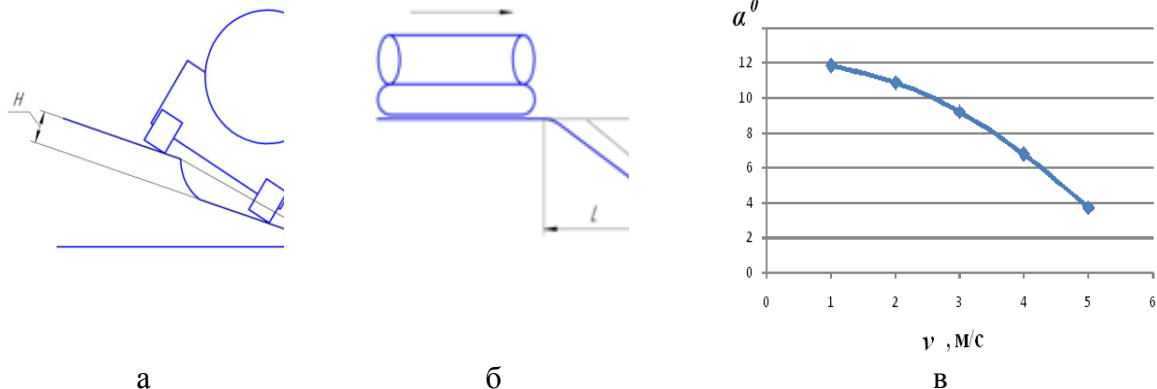


Рисунок 5 – Розрахункова схема (а,б) та швидкісна характеристика (в) стійкості механізму.

Отже встановлено, що наїзд на локальну перешкоду рушія одного борту під час руху територією із ухилом призводить до значного збільшення ризику перекидання механізму. У випадку з наполовину заповненої цистерни такий кут може зменшуватись із  $24^\circ$  аж до  $4^\circ$  за збільшення швидкості механізму до 5 м/с.

### Список літератури

1. Библюк, Н. І. Лісотранспортні засоби: Теорія: Підручник / Н. І. Библюк. - Львів: Видавничий дім «Панорама», 2004. - 453 с.
2. Рыбак, Т. И. Методы оценки несущей способности и долговечности машин для химической защиты в растениеводстве / Т. И. Рыбак. - Киев: Наук. думка, 1985. – 232 с.
3. Машини для земляних робіт / Л. А. Хмара [та інш.]; за заг. ред. Л. А. Хмари. – Харків: ХНАДУ, 2014. – 548 с.
4. Пожежный танк ГПМ 72 – Вікіпедія [Електронний ресурс] / Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Пожежный\\_танк](https://uk.wikipedia.org/wiki/Пожежный_танк)