

СИЛОВИЙ АНАЛІЗ ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ З ПАХОТНИМ ПЛУГОМ

**Довжик М.Я., к.т.н., доцент, Татьяначенко Б.Я., к.т.н., доцент,
Соларьов О.О., аспірант**
(Сумський національний аграрний університет)

В статті представлений силовий аналіз, який виконується з метою виявлення впливу конструктивних факторів і зовнішнього навантаження від навісних і причіпних механізмів на передню і задні осі чотирьохколісної машини. Це дозволить намітити заходи обмеження тиску коліс на ґрунт і раціонального перерозподілу навантаження на передні і задні колеса з метою досягнення мінімального ущільнення ґрунту.

Ціль роботи та постановка задачі. Силова взаємодія ведучого і веденого коліс з ґрунтом детально розглянута в багатьох наукових роботах [1, с.31-34; 2, с.29-73]. Вивчення динаміки трактора з навісним знаряддям проводилося з метою забезпечення найбільшої тяги та стійкості агрегату а також попередження втрати керування [3, 4, 5]. Але у відомих нам роботах не ставиться задача про раціональний перерозподіл навантаження на осі, щоб знайти способи зменшення або хоча б вирівнювання тиску коліс на ґрунт і при цьому забезпечити всі інші експлуатаційні вимоги (тягу, стійкість, керування та ін.). Це досить складна проблема, тому що всі реальні напрями удосконалення тракторів, як правило, пов'язані зі збільшенням продуктивності.

Головна частина. Позначимо сили, що діють на тракторний агрегат з пахотним плугом у робочому стані (рис. 1): G – вертикальна сила ваги трактора; Y_1 і Y_2 – вертикальні нормальні реакції ґрунту під передніми і задніми колесами; X_1 і X_2 – відповідні горизонтальні реакції. M_1 і M_2 – крутні моменти (задні колеса вважаються ведучими, передні – ведені); P – сила опору плуга, що діє на шарнір, з'єднуючий плуг з трактором. Силу P можна розкласти на $P_1 = P \sin \alpha$ – вертикальну складову і $P_2 = P \cos \alpha = P_{кр}$ – крюкову силу. Для передніх і задніх коліс позначимо: ω_1 і ω_2 – кутові швидкості обертання; r_1 і r_2 – зовнішні радіуси шин коліс; r_{d1} і r_{d2} – динамічні радіуси коліс; a_1 і a_2 – поздовжні зміщення нормальних реакцій.

Окрім цього, при нерівномірному русі трактора з прискоренням j виникає сила інерції $P_j = -mj$, де $m = G/g$ (g – прискорення вільного падіння).

З умови статичної рівноваги у стані нерухомості трактора знаходимо вертикальні статичні реакції на передню і задню осі трактора:

$$Y_1 = G \frac{l_1}{l}; \quad Y_2 = G \frac{l_2}{l}. \quad (1)$$

Якщо q_1 і q_2 – питомий тиск коліс на ґрунт, а F_{k1} і F_{k2} – п’ятна контакту, то з умови $q_1 = q_2$, або $F_{k1}/F_{k2} = \frac{l_1}{l_2}$ слідує, що єдиною можливістю вирівняти питомий тиск під задніми і передніми колесами є регулювання п’ятен контакту за рахунок зміни тиску повітря в шинах.

Для визначення моментів M_1 і M_2 розглянемо рівновагу коліс. На ведуче (заднє) колесо (рис.2а) окрім нормального навантаження G_{k2} діє реакція P_2 штовхаючої сили, спрямована проти швидкості поступального руху v і ведучий момент M_2 , що передається від двигуна. Реакцію R_2 ґрунту представимо у вигляді горизонтальної складової X_2 , спрямованої у бік поступального руху, і нормальної сили Y_2 , зсунутої у бік руху на величину коефіцієнта кочення a_2 , який називається поздовжнім зміщенням нормальної реакції.

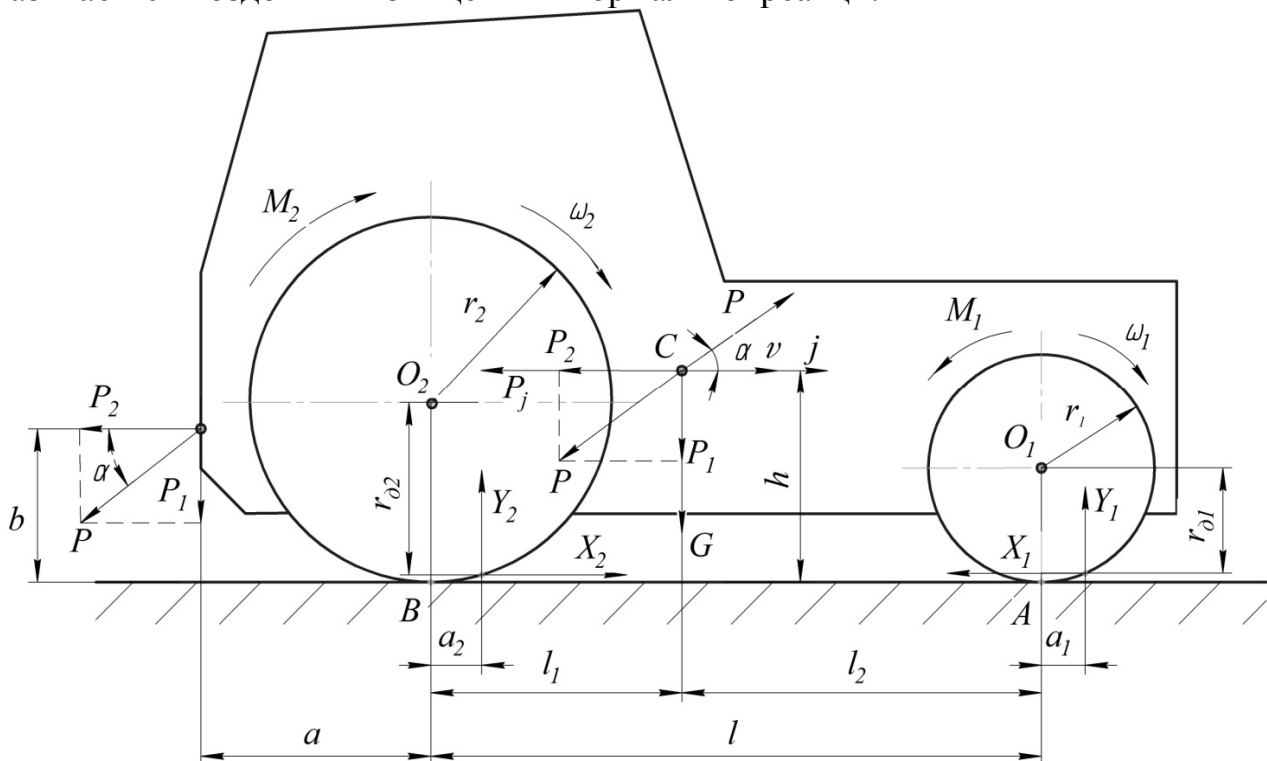


Рисунок 1 – Сили, діючі на агрегат у робочому стані.

При нерівномірному обертанні колеса на нього діють також момент сил інерції M_{j2} , спрямований протилежно кутовому прискоренню ϵ_2 , і горизонтальна сила інерції P_{j2} , протилежна напрямку прискорення j .

На переднє (ведене) колесо діють такі ж самі сили, як і на заднє (ведуче) колесо, за виключенням напрямків момента M_1 і горизонтальної реакції ґрунту X_1 , які спрямовані проти руху колеса.

У загальному випадку ведучий момент M_2 під час руху по горизонтальній площині можна знайти з балансу потужностей обох коліс:

$$M_2 = X_2 r_{\partial 2} + M_{k2} + M_1; \quad M_1 = X_1 r_{\partial 1} + M_{k1}, \quad (2)$$

де $M_{k1} = f_1 Y_1 = \frac{a_1}{r_{\partial 1}} Y_1$ і $M_{k2} = f_2 Y_2 = \frac{a_2}{r_{\partial 2}} Y_2$ - моменти опору коченню веденого і ведучого коліс; $f_1 = a_1/r_{\partial 1}$ і $f_2 = a_2/r_{\partial 2}$ - коефіцієнти опору кочення коліс.

Якщо трактор рухається з робочими органами у транспортному положенні (задні колеса ведучі), треба урахувати моменти M_1 і M_2 . Нормальні

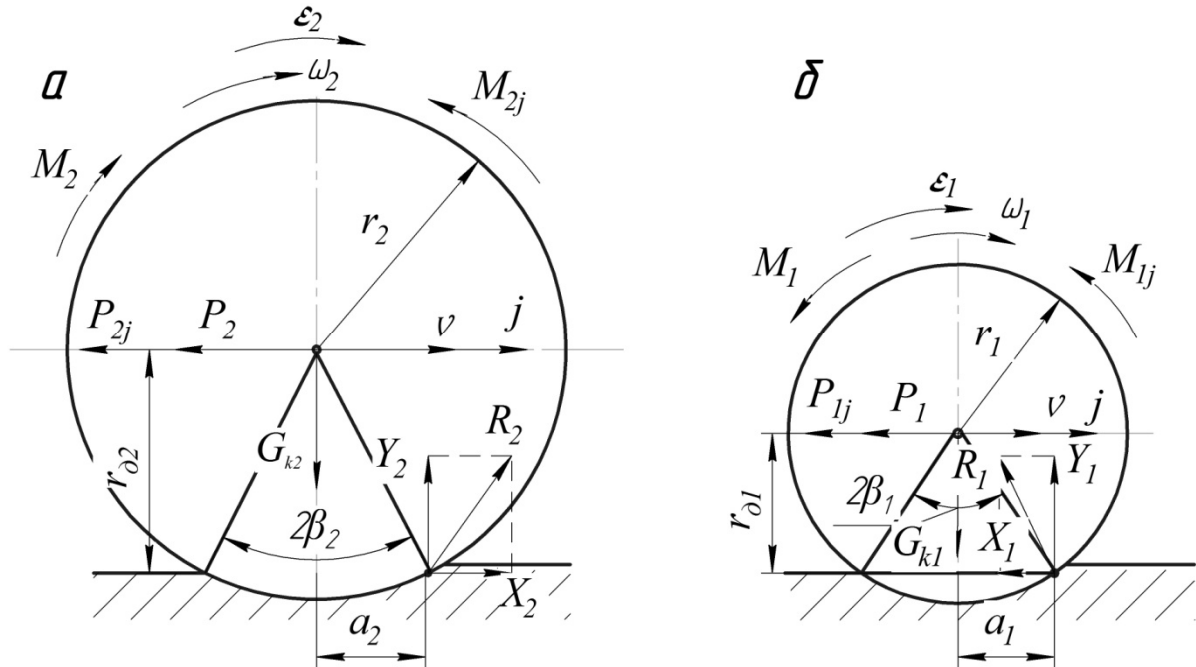


Рисунок 2 - Схеми сил, що діють на ведуче (а) і ведене (б) колеса.

Знайдемо нормальні реакції Y_1 і Y_2 на колеса трактора під час руху по горизонтальній поверхні ґрунту з постійною швидкістю. Для цього запишемо суми моментів усіх сил, діючих на агрегат, відносно точок А і В:

$$\sum M_A = Y_1 a_1 + Gl_2 - Y_2(l - a_2) + P \sin \alpha \cdot (l + a) + P \cos \alpha \cdot b = 0; \quad (3)$$

$$\sum M_B = Y_1(l + a_1) - Gl_1 + Y_2 a_2 + P \sin \alpha \cdot a + P \cos \alpha \cdot b = 0; \quad (4)$$

Запишемо ці рівняння у вигляді:

$$-Gl_2 + Y_2 l - P(l + a) \sin \alpha - P b \cos \alpha = Y_1 a_1 + Y_2 a_2; \quad (5)$$

$$Gl_1 - Y_1 l - P a \sin \alpha - P b \cos \alpha = Y_1 a_1 + Y_2 a_2. \quad (6)$$

Праві частини рівнянь – це моменти опору коченню трактора, які порівняно з рештою членів, що складають ліві частини, незначні, тому в інженерних розрахунках, пов'язаних з визначенням нормальних реакцій Y_1 і Y_2 , ними можна знехтувати [6, 53-54].

Тоді нормальні реакції ґрунту на колеса передньої і задньої осей будуть:

$$Y_1 = \frac{Gl_1 - P[a \sin \alpha + b \cos \alpha]}{l} = \frac{Gl_1 - P_{\text{сп}}(atg\alpha + b)}{l}; \quad (7)$$

$$Y_2 = \frac{Gl_2 - P[(l+a) \sin \alpha + b \cos \alpha]}{l} = \frac{Gl_2 + P_{\text{сп}}[(a+l)tg\alpha + b]}{l}. \quad (8)$$

Тут сила $P_{кр} = P_2$ - сила тяги на крюку. Тепер з'являється можливість регулювання сил тиску на ґрунт шляхом зміни розмірів a , b і кута α .

Як правило, ведучими колесами є задні колеса трактора. Додаткове навантаження цих коліс забезпечується за рахунок ваги навісних знарядь і крутного моменту на осі. Тягова сила пропорційна силі ваги, яка приходить на ведучі колеса, тому із всієї ваги трактора приблизно дві третини приходить на задні колеса і одна третина - на передні. Існують також обмеження мінімальної ваги на передні колеса, щоб забезпечити керування трактором. Нас же інтересує саме питомий тиск коліс на ґрунт. У неробочому положенні навісних чи причіпних знарядь питомий тиск передніх коліс більший, ніж задніх, що визначається шириною шин, діаметром коліс і, як наслідок, розміром п'ятна контакту. Інколи робиться перерозподіл загальної ваги між передніми і задніми колесами шляхом використання додаткової ваги (баласту). Цей спосіб не можна вважати раціональним, тому що наша ціль полягає у зменшенні тиску на ґрунт. Суттєво також відмітити, що додаткова вага, хоча й зменшує вірогідність буксування та збільшує тягову силу, вона зменшує ККД машини, тому що збільшується навантаження на трансмісію, особливо на нижчих передачах, і збільшується опір коченню коліс.

Для аналізу співвідношення між навантаженням на мости трактора вводяться так звані коефіцієнти навантаження коліс. Існують рекомендації щодо значення цих коефіцієнтів для тракторів різних марок. При цьому переслідується лише одна ціль: як забезпечити необхідне тягове зусилля, що розвивається ведучими колесами, і реалізувати приблизну рівність коефіцієнтів навантаження передніх і задніх коліс. Але це не призводить до вирівнювання питомого тиску на ґрунт під передніми і задніми колесами.

Найбільш суттєвий перерозподіл між нормальними реакціями ґрунту пов'язаний з силою тяги на крюку:

$$Y_{m1} = \frac{-P_{кр}(a \operatorname{tg} \alpha + b)}{l}; \quad Y_{m2} = \frac{P_{кр}[(l+a) \operatorname{tg} \alpha + b]}{l}. \quad (9)$$

Тут можливе значне перевантаження задніх коліс і зменшення ваги на передні колеса до величини, недостатньої для забезпечення керування трактора. Обмежити розвиток таких подій можна двома способами:

1. Зменшенням кута α , що досягається регулюванням висоти h .
2. Виготовленням телескопічних тяг для навісного чи причіпного знаряддя, щоб регулювати розмір b .

Існують рекомендації щодо ваги на передню вісь: вона повинна бути не менше 15% від загальної ваги, а якщо ця умова не виконується, то треба довантажити передню вісь баластом.

Визначимо напруження в ґрунті з урахуванням тягового опору, який представлений рівнодіючою P під кутом α до поверхні ґрунту. Нормальні реакції на одне колесо у цьому випадку будуть:

$$Y_1 = \frac{Gl_1 - P_{кр}(a \operatorname{tg} \alpha + b)}{2l}; \quad Y_2 = \frac{Gl_2 + P_{кр}[(a+l) \operatorname{tg} \alpha + b]}{2l}. \quad (10)$$

Відповідні знайденим реакціям напруження в ґрунті:

$$\sigma_1 = \frac{Y_1}{2B_1 r_1 \sin \beta_1}; \quad \sigma_2 = \frac{Y_1}{2B_2 r_2 \sin \beta_2}, \quad (11)$$

де, B_1 і B_2 – ширина передньої і задньої шини.

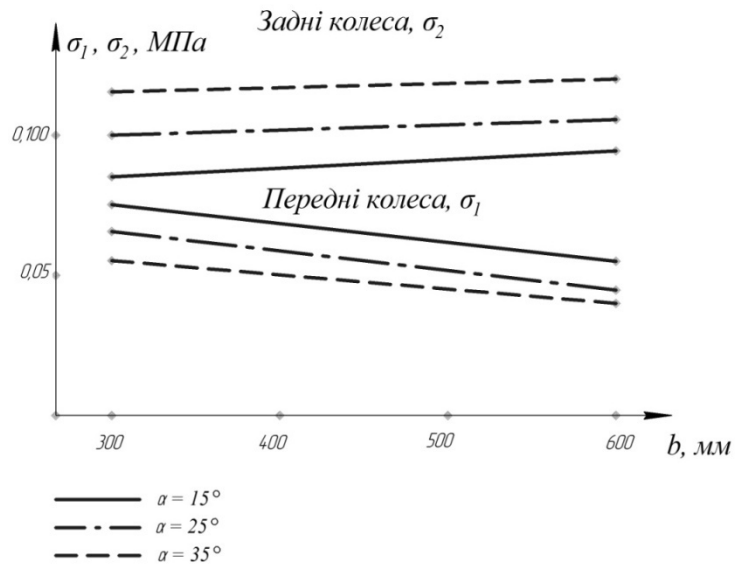


Рисунок 3 – Залежність напружень в ґрунті від висоти крюка

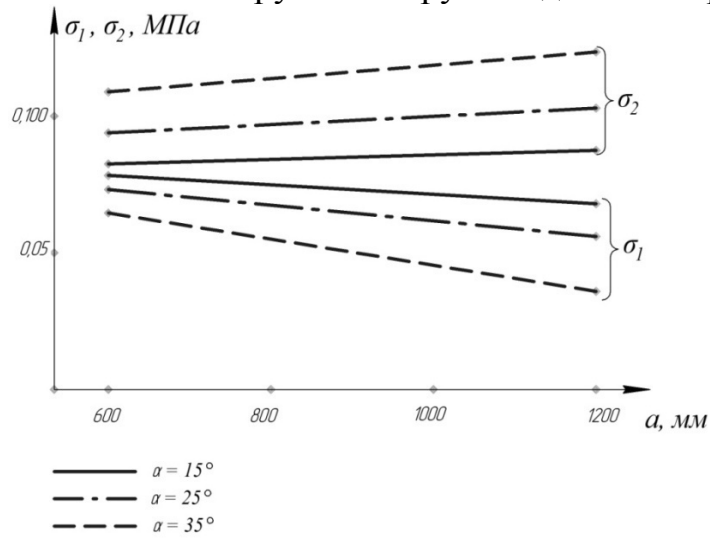


Рисунок 4 – Залежність напружень в ґрунті від розміру a

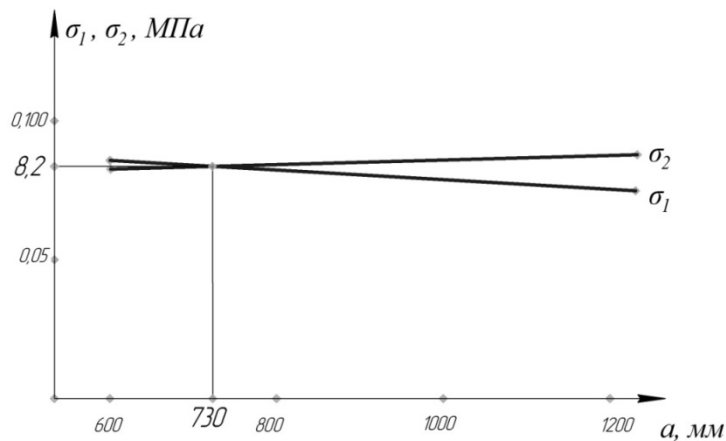


Рисунок 5 – Оптимальні параметри використання пахотного агрегату

Висновок. Дуже важливим є правильний вибір діаметра ведучих коліс. Це складна задача, бо, з одного боку, збільшення діаметра поліпшує тягово-зчіпні якості трактора, але викликає додаткове навантаження на трансмісію, а з другого боку, менші колеса потребують збільшення їх ширини, щоб компенсувати зменшення дуги контакту шини з ґрунтом і, таким чином, не довести напруження в ґрунті до недопустимої величини.

Виконавши розрахунки при різних кутах прикладеної сили, висоти та відстані від задньої осі, отримали графіки зміни напруження під передніми та задніми рушійми для трактора МТЗ – 80 з плугом ПЛН-3-35 (рис. 3, 4). Повне вирівнювання напружень під передньою та задньою віссю можливе за умов, коли $\alpha = 15^\circ$, $a = 740$ мм, $b = 100$ мм (рис. 5).

Список літератури

1. Кравченко В.И. Уплотнение почв машинами / В.И. Кравченко. – Алма-Ата: «Наука», 1986. – 96 с.
2. Наими К.Д. Моделирование взаимодействия тракторного колеса с почвой : дис. на соиск. уч. степени канд. техн. наук : спец. 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» / К.Д. Наими. – М., 2007. – 157 с.
3. Некоторые соображения адресованные для тех, кто хочет сделать самодельный трактор [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://minitractor.0pk.ru/viewtopic.php?id=1780>.
4. Нормальные реакции почвы на колеса трактора при работе с навесными орудиями [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.reklama78.ru/traktora-i-zapasnye-chasti-k-nim/obcschaya-dinamika-kolesnyh-traktorov-i-avtomobilej/normalnye-reaktsii-pochvy-na-kolesa-traktora-pri-rabote-s-navesnymi-orudiyami.html>
5. Рыжих Н.Е. Влияние направления линии действия силы тяги на сопротивление плуга [Електронний ресурс] / Научный журнал КубГАУ. – Краснодар. – Режим доступу : <http://www.ej.kubagro.ru/2004/06/11/>.
6. Савочкин В.А. Тяговая динамика колесного трактора : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Автомобиле- и тракторостроение» / В.А. Савочкин. – М. : МГТУ «Мами», 2005. – 97 с.

Abstract

Power analysis with a plow tractor units

M. Dovzhik, B. Tatyanchenko, O. Solaryov

In the article the power analysis, which is performed in order to identify the impact of structural factors and external loading of mounted and towed mechanisms on the front and rear axles chotyrohkolisnoyi machine. This will identify measures to

limit pressure wheels on the ground and rational redistribution of the load on the front and rear wheels to achieve minimum soil compaction.

Аннотация

Силовой анализ тракторных агрегатов с пахотным плугом

Довжик М.Я., Татьянченко Б.Я., Соларёв А.А.

В статье представлен силовой анализ, который выполняется с целью выявления влияния конструктивных факторов и внешней нагрузки от навесных и прицепных механизмов на переднюю и задние оси четырехколесной машины. Это позволит наметить меры ограничения давления колес на почву и рационального перераспределения нагрузки на передние и задние колеса с целью достижения минимального уплотнения почвы.