

## ВИЗНАЧЕННЯ КОЛОВОЇ ЖОРСТКОСТІ НАВІСНОЇ СИСТЕМИ ТРАКТОРА ПРИ ПРОВЕДЕННІ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОПЕРАЦІЇ

**Ярошенко Павло Миколайович**

кандидат технічних наук, доцент

Сумський національний аграрний університет, Суми, Україна

ORCID: 0000-0003-3815-1579

pashajarosh@i.ua

*У статті розглянуті питання щодо визначення колової жорсткості навісної системи трактора. Сучасні системи навішування мають доволі просту, але в той же час і складну систему приєднання сільськогосподарської машини до енергетичного засобу. Навісна система являє собою шарнірно-важільний механізм, розміщений ззаду або спереду трактора. Доволі часто універсально-просапні трактори мають обидві навіски. Їх функції практично однакові, але вага машин, які агрегуються з трактором децю різняться між собою. Все залежить від способу приєднання машин до трактора. Традиційно навісні машини розміщують на обох навісках, але на передній – розміщують легші машини. Це обумовлено меншими можливостями щодо навантаження переднього мосту трактора, плюс необхідністю доброго переднього огляду із кабіни трактора.*

*Відносно жорсткості навісної системи можна сказати, що таких досліджень вкрай мало. Справа в тому, що конструкція самої навіски є масивною і такою, що не викликає сумнівів у її надійності. Однак сучасні сільськогосподарські машини, які мають ширину захвату 8 і більше метрів, мають і значну масу в порівнянні з іншою технікою з меншою шириною захвату. Тому виникає законне питання щодо жорсткості і навішувальної здатності навісних систем тракторів.*

*В представлений статті розглянуто теоретичне питання визначення жорсткості навісної системи трактора під час проведення технологічної операції сівби сільськогосподарської культури. Визначені теоретичні залежності показують зміну величини кута відхилення сівалки від траєкторії руху трактора. Отримані теоретичні рівняння можуть бути корисними при проектуванні навісних сільськогосподарських машин.*

*Завдання зводиться до визначення залежності між пружним розтягуванням ланцюга та кутом повороту сівалки. Для цього розглянемо чотирикутник, що символізує навісну систему, де одні шарніри є точками кріплення нижніх тяг до нижньої осі навіски трактора, а інші – точками кріплення до сівалки. Штрих пунктирними лініями вказані пружні елементи – обмежувальні ланцюги. При цьому нас цікавитимуть кути повороту сівалки щодо трактора, та кут повороту нижньої тяги навіски.*

*Проведені теоретичні дослідження показали значимість показника жорсткості навісних систем тракторів. Отримана залежність показала, що основними показниками при визначенні жорсткості є момент від сили пружності обмежувального ланцюга і кут повороту нижньої тяги механізму навіски. В свою чергу сила пружності обмежувального ланцюга залежить від матеріалу, з якого він виготовлений, і терміну роботи всієї навісної системи.*

**Ключові слова:** навісна система трактора, колова жорсткість, спосіб з'єднання, кут повороту, технологічна операція.

DOI <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.1.8>

**Вступ.** Практично на всіх сільськогосподарських і навіть на тих, що використовуються в будівництві та лісовому господарстві тракторах, є навісні системи. Вони можуть бути як задніми так і передніми. На сучасних тракторах вони використовуються обидві. Однак основне навантаження при проведенні сільськогосподарських операцій має задня навісна система.

Механізм навішування, або навісна система, призначений для з'єднання сільськогосподарської машини з енергетичним засобом (трактором), утримання її в вибраному або заданому положенні і регулювання робочого положення машини при виконанні технологічної операції.

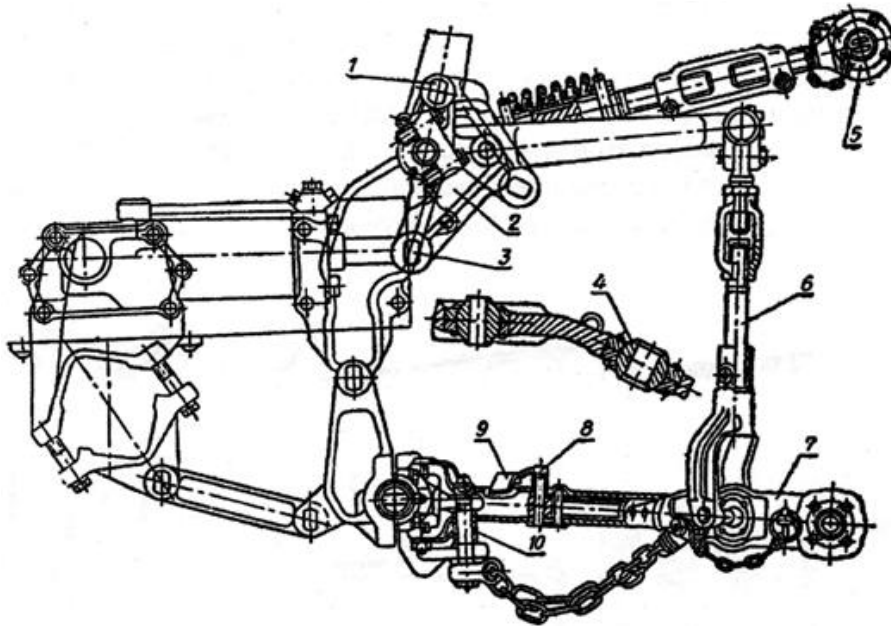
Сучасні механізми навішування тракторів являють собою шарнірно-важільні механізми, розміщені спереду або ззаду (рис. 1) трактора (Hel'man, 1991). За способом з'єднання з трактором навісні системи можуть бути одноточковими, двоточковими, триточковими і чотириточковими.

Одноточкове з'єднання застосовується коли сільськогосподарська машина з'єднується з енергетичним

засобом в одній шарнірній точці, а переміщення навісної системи буде вверх-вниз за допомогою гідроциліндра. Таке з'єднання використовується при транспортних роботах, коли в якості причіпної машини використовується тракторний причеп (Semenov, 1981).

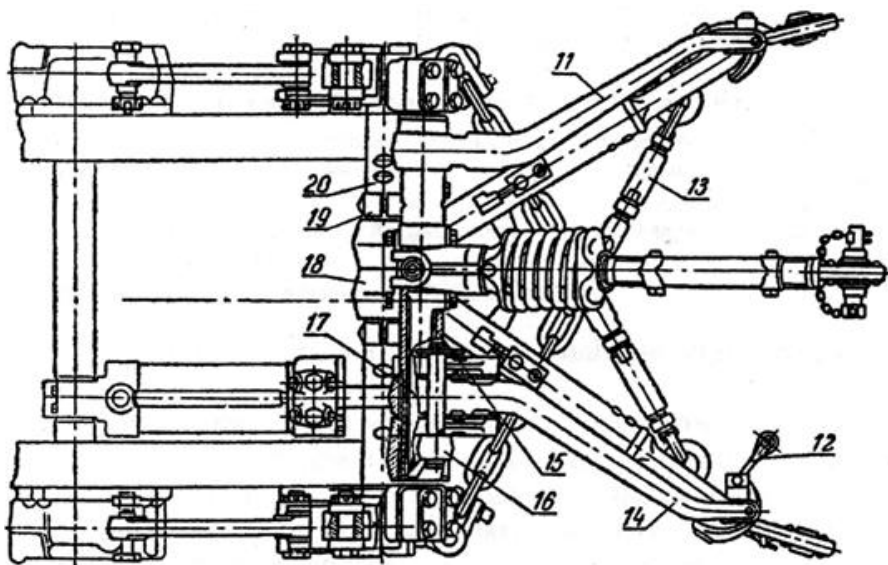
Двоточкове з'єднання (рис. 2) використовують в тих випадках, коли сільськогосподарське знаряддя під час роботи може мати вертикальне або горизонтальне переміщення чи коливання. Такий вид з'єднання використовують в основному на гусеничних тракторах та під час проведення оранки. До речі, при виконанні оранки трактор по відношенню до плуга може здійснювати повороти під кутом до 20° (Hrechkosiy, 1988).

Триточкове з'єднання використовується при проведенні таких операцій як сівба чи культивация. Особливо це стосується навісних машин. При триточковому навішуванні забезпечується стійка робота сільськогосподарської машини, вона майже не відхиляється від прямолінійного сліду трактора. Це особливо важливо при сівбі просапних культур та міжрядній культивацияі.



**Рис. 1. Задній начіпний пристрій (вид збоку):**

1 – палець блокування; 2 – важіль штока; 3 – сполучний палець; 4 – кульова голівка; 5 – центральна тяга; 6 – розкіс; 7 – нижня тяга; 8 – палець; 9 – фіксатор; 10 – розпірна втулка



**Рис. 2. Задній начіпний пристрій (двоточкова наладка):**

11 – підйомний важіль правий; 12 – фіксатор центральної тяги; 13 – обмежувальний ланцюг; 14 – підйомний важіль лівий; 15 – вал важелів; 16 – важіль упорний; 17 – вісь верхня; 18 – головка циліндра; 19 – упор; 20 – нижня вісь

Чотириточкове з'єднання використовується при проведенні аграрних робіт вкрай рідко. Однак на відміну від триточкового, дві верхні поздовжні тяги забезпечують більш високу стійкість руху сільськогосподарської машини (Макаренко, 2012).

Найбільше розповсюдження на сільськогосподарських тракторах отримали триточкові навісні системи.

Використання навісної системи сучасних тракторів забезпечує можливість копіювання агрегатованими знаряддями рельєфу поля та оптимально перерозподі-

лити навантаження між машиною та ведучими колесами трактора. Це досягається завдяки висотному, силовому та позиційному способам регулювання глибини обробітку ґрунту. Всі ці способи активно використовуються при проведенні сільськогосподарських робіт, при чому за необхідності можна використовувати два способи регулювання глибини обробітку: висотний і силовий або позиційний і силовий (Макаренко, 2012).

**Матеріали і методи досліджень.** Взагалі то досліджень в області навісних пристроїв доволі мало. А ті

що є, в основному торкаються стійкості та покращення керованості машинно-тракторних агрегатів, і впливу навісних пристроїв на даний процес. Чому так? Тут скоріше велику роль відіграє сама конструкція навіски. Вона достатньо надійна і практично задовольняє вимоги до з'єднання агрегатів з трактором. Але на деяких матеріалах, що стосуються навісних систем можна зупинитись.

В дослідженнях Павлюка А. С. мова йде про фактори, що впливають на стійкість і керованість мобільних машин. До них дослідник відносить наступні:

- конструктивні особливості поворотних пристроїв причіпних ланок;
- масово-геометричні параметри шарнірно з'єднаних машин;
- характеристики пневматичних шин і підвіски;
- конструктивні особливості тягово-зчіпних пристроїв.

Для покращення цих параметрів було розроблено тягово-зчіпний пристрій. Щоб оцінити ефективність роботи нового винаходу були проведені порівняльні дослідження розповсюдженого тягово-зчіпного пристрою «вилка-петля» і розробленого зчіпного пристрою. В ході досліджень вимірювались відхилення курсових кутів енергетичного засобу і причіпної ланки за допомогою гіроскопічних датчиків, а також швидкість руху мобільної машини (датчик – «п'яте колесо»). Одночасно з цим здійснювалась оцінка параметрів, що впливають на продуктивність і якість роботи та покращують умови праці робітників (Pavlyuk, 2009).

Дослідження Попова В. Б. присвячені питанням автоматизованого проектування механізму навішування переднього підйомно-навісного пристрою універсального енергетичного засобу «Полісся». Подано опис вихідних параметрів гідроприводу та механізму навішування, що формують процедуру аналізу підйомно-навісного пристрою. На основі функціональної математичної моделі аналізу, а також обраних методів оптимізації, показників якості, функціональних та прямих обмежень побудовано

процедуру параметричної оптимізації. В результаті оптимізації збільшено вантажопідйомність модернізованого варіанта механізму навішування (Роров, 2008).

Як бачимо проведення досліджень не торкаються жорсткості навісної системи трактора. Однак сучасні навісні посівні агрегати, які мають ширину захвату від 8 і більше метрів, мають також і значні маси – 3 т і більше. Такі агрегати під час роботи мають значний опір, а відповідно і розгойдують МТА. Це призводить до неточності сівби та непрямої рядків рядків сіяної культури.

**Результати досліджень.** Будемо вважати, що елементом, який формує кругову жорсткість під час процесу повороту, є обмежувальний ланцюг. Процесом повороту в даному випадку вважатимемо поворот рульового механізму трактора при коригуванні прямолінійного руху агрегату.

Завдання зводиться до визначення залежності між пружним розтягуванням ланцюга та кутом повороту сівалки. Для цього розглянемо чотирикутник ABCD (рис. 3, а), де шарніри А та Д є точками кріплення нижньої тяги до нижньої осі навіски трактора, а шарніри В та С точками кріплення до сівалки. Штрих пунктирними лініями вказані пружні елементи – обмежувальні ланцюги. При повороті сівалки щодо базового трактора кутом повороту будимо вважати кут  $\beta$ , а кут  $\alpha$  – кутом повороту нижньої тяги АВ (рис. 3, б).

Розглядаючи вищезгаданий чотирикутник отримаємо такі вирази:

$$DB' = \sqrt{AB'^2 + AD^2 - 2 \cdot AB' \cdot AD \cdot \cos(\angle BAN + \alpha)}$$

$$\angle AB'D = \arccos\left(0.5 \frac{AB'^2 + B'D^2 - AD^2}{B'D \cdot AB'}\right)$$

$$\angle DB'C = \arccos\left(0.5 \frac{CB'^2 + B'D^2 - CD^2}{B'D \cdot CB'}\right)$$

$$\angle B'AN' = \pi / 2 - (\angle AB'D + \angle DB'C)$$

$$\beta = (\alpha + \angle BAN) - \angle B'AN'$$

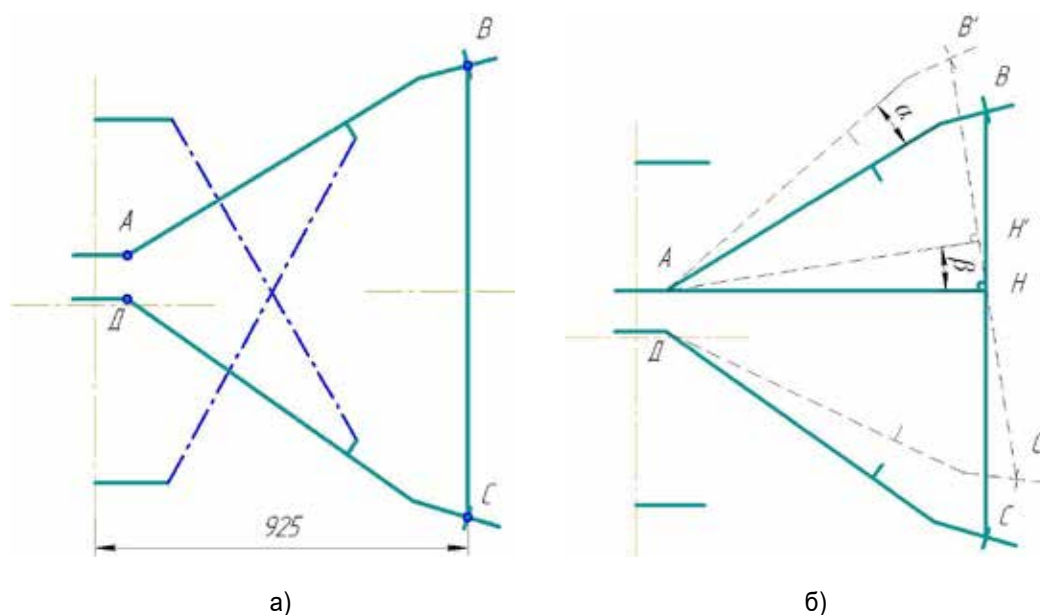
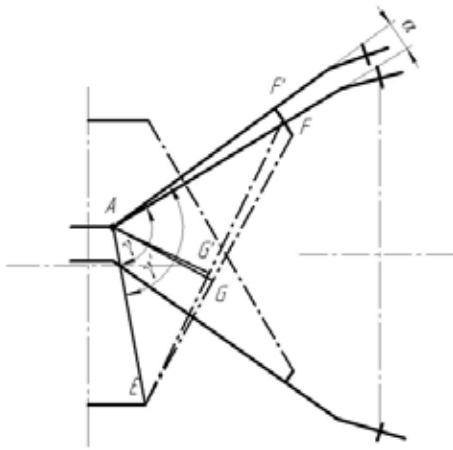


Рис. 3. Кінематична схема задньої навіски трактора

Для конкретних геометричних параметрів зчпного пристрою маємо наступне трансцендентне рівняння:

$$\beta - \pi / 2 + \alpha + 0.547 + \arccos((0.5163688940 \cdot (1.87520978 + 0.20934646 \cdot \sin(\alpha + 0.547))) \div \sqrt{0.94929050 + 0.20934646 \cdot \sin(\alpha + 0.547)}) + \arccos((0.4457917261 \cdot (1.26967217 + 0.20934646 \cdot \sin(\alpha + 0.547))) \div \sqrt{0.94929050 + 0.20934646 \cdot \sin(\alpha + 0.547)}) = 0$$

Вирішуючи останнє рівняння знайдемо необхідну залежність  $\alpha = f(\beta)$ .



**Рис. 4.** Кінематична схема задньої навіски трактора щодо деформації обмежувального ланцюга

Деформація ланцюга (рис. 4)  $\Delta z = EF' - EF$ , де

$$EF = \sqrt{AE^2 + AF^2 - 2 \cdot AE \cdot AF \cdot \cos(\gamma)}$$

$$EF' = \sqrt{AE^2 + AF'^2 - 2 \cdot AE \cdot AF' \cdot \cos(\gamma')} .$$

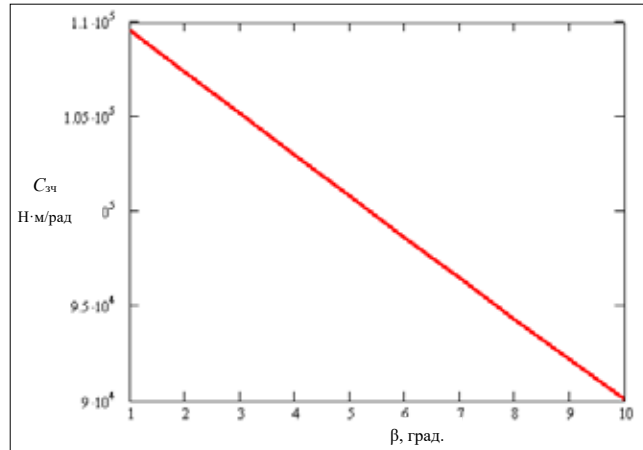
Момент від сили пружності ланцюга –  $M = C_{\text{ланцюга}} \cdot \Delta z \cdot AG'$ .

Тоді формула для знаходження жорсткості навісного пристрою буде мати вигляд:

$$C_{\text{зч}} = \frac{M}{\alpha} .$$

**Обговорення.** Як відомо з історії, перші навісні системи з'явилися в 1934 році для навішування на трактор культиваторів і керування ними в районах зрошувального бавовництва. В подальшому здійснювався розвиток навісних систем, їх вдосконалення та гідрофікація. З розвитком гідравлічних систем тракторів до навісних систем стали пред'являтися інші вимоги, збільшилась їх вантажність, вдосконалилась їх конструкція.

Сучасні навісні системи являють собою підчас унікальні конструкції. Вони використовуються не тільки для навішування сільськогосподарських машин. Часто не



**Рис. 5.** Графік зміни жорсткості навісного пристрою відносно кута повороту сівалки

передню навіску, а інколи і на задню, чіпляють додаткові вантажі – чим здійснюють баластування трактора.

Аналізуючи конструкції навісних систем закордонних тракторів можна констатувати, що всі вони все більше управляються і контролюються електронікою. Це потребує використання спеціально розроблених програм.

Слід також сказати про передню навісну систему, яка має функцію гасіння поздовжніх коливань трактора під час руху. Фахівці компанії CLAAS стверджують, що ця система забезпечує плавність руху та комфорт, як і активний незалежний передній міст. Вона вже входить в базову комплектацію Axion 950.

Однак не слід забувати, що основою навісного пристрою є шарнірний чотириланковий механізм, який має безліч рухів в різних площинах (Artobolevskiy, 1988). І цей механізм повинен постійно забезпечувати виконання технологічного процесу. Не останню роль в цьому відіграє жорсткість механізму навіски.

**Висновки.** Проведені теоретичні дослідження показали значимість показника жорсткості навісних систем тракторів. Отримана залежність показала, що основними показниками при визначенні жорсткості є момент від сили пружності обмежувального ланцюга і кут повороту нижньої тяги механізму навіски. В свою чергу сила пружності обмежувального ланцюга залежить від матеріалу, з якого від виготовлений, і терміну роботи всієї навісної системи.

#### Бібліографічні посилання:

1. Helman B. M., Moskvyn M. V. (1991). Silskohospodarski traktory i avtomobili: Kn. 2: Shasi i obladnannya [Agricultural tractors and cars: Book 2: Chassis and equipment]. Kiev : Urozhay, 368 p. (in Ukrainian).
2. Semenov V. M. (1981). Rabota na traktore [Working on a tractor]. Moskva : Kolos. 271 p. (in Russian).

3. Hrechkosiy V. D. (1988). Dovidnyk sil'skoho inzhenera [Handbook of rural engineer]. Kiev : Urozhay. 360 p. (in Ukrainian).
4. Makarenko M. H. (2012). Navisni systemy traktoriv [Tractor mounted systems]. Kiev : Mechanization of agro-industrial complex. № 6. Pp. 20–24. (in Ukrainian).
5. Pavlyuk A. S., Kalinin R. A. (2009). Povysheniye ustoychivosti i upravlyayemosti mobil'nykh mashin za schet konstruktivnykh tyagovo-stsepnogo ustroystva [Improving the stability and controllability of mobile machines due to the design of the towing device]. Yekaterinburg : Polzunovskiy vestnik. № 1-2. Pp. 119–122. (in Russian).
6. Popov V. B. (2008). Avtomatizirovannoye proyektirovaniye mekhanizma naveski perednego pod'yemno-navesnogo ustroystva universal'nogo yenergosredstva [Computer-aided design of the linkage mechanism of the front lifting-hinged device of a universal power source]. Minsk : Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva: mezhvedomstvennyy tematicheskiy sbornik. Vyp. 42. pp. 3–12. (in Belarussian).
7. Artobolevskiy, I. I. (1988). Teoriya mekhanizmov i mashin [Theory of mechanisms and machines]. Moskva : Mashinostroyeniye. 640 p. (in Russian).
8. Guskov, V. V. (1981). Traktory. Chast 3. Konstruirovaniye i raschet [Tractors. Part. 3. Design and calculation]. Minsk : Vysshaya shkola. 383 p. (in Russian).
9. Vodyanyk I. I. (1994). Ekspluatatsiyni vlastyivosti traktoriv i avtomobiliv [Performance properties of tractors and cars]. Kiev : Urozhay. 224 p. (in Ukrainian).

**Yaroshenko P.M.** PhD, Sumy National Agrarian University, Sumy, Ukraine

***Determination of circular hardness of tractor attachment system during technological operation***

*The article considers the issues of determining the circular stiffness of the tractor hitch system. Modern attachment systems have a fairly simple, but at the same time complex system of connecting an agricultural machine to the power tool. The attachment system is a hinge-lever mechanism located at the rear or front of the tractor. Quite often all-terrain tractors have both attachments. Their functions are almost the same, but the weight of the machines that are combined with the tractor are slightly different. It all depends on how the machine is attached to the tractor. Traditionally, mounted machines are placed on both attachments, but on the front – placed lighter machines. This is due to the lower load capacity of the tractor's front axle, plus the need for a good front view from the tractor cab.*

*Regarding the rigidity of the hinged system, we can say that such studies are extremely few. The fact is that the design of the hitch itself is massive and such that there is no doubt about its reliability. However, modern agricultural machinery, which has a width of 8 meters or more, has a significant weight compared to other equipment with a smaller width. Therefore, there is a legitimate question about the rigidity and bearing capacity of tractor hitches.*

*The presented article considers the theoretical issue of determining the rigidity of the tractor hitch system during the technological operation of sowing crops. The determined theoretical dependences show the change in the value of the angle of deviation of the drill from the trajectory of the tractor. The obtained theoretical equations can be useful in the design of mounted agricultural machines.*

*The task is to determine the relationship between the elastic tension of the chain and the angle of rotation of the drill. To do this, consider the quadrilateral, which symbolizes the mounted system, where some hinges are the points of attachment of the lower links to the lower axis of the tractor hitch, and others – the points of attachment to the drill. Dashed lines indicate elastic elements – limiting chains. At the same time we will be interested in the angles of rotation of the drill relative to the tractor, and the angle of rotation of the lower link of the hitch.*

*The conducted theoretical researches have shown the significance of the stiffness index of tractor hitches. The obtained dependence showed that the main indicators in determining the stiffness are the moment of the elastic force of the limiting chain and the angle of rotation of the lower rod of the hitch mechanism. In turn, the strength of the elasticity of the limiting chain depends on the material from which it is made, and the service life of the entire hinged system.*

**Key words:** tractor hitch system, wheel stiffness, connection method, angle of rotation, technological operation.