

ЗНИЖЕННЯ НАВАНТАЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ МОСТА КЕРОВАНИХ КОЛІС САМОХІДНОЇ КОСАРКИ ШЛЯХОМ РАЦІОНАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ГІДРОЦИЛІНДРІВ

Наведено конструктивні особливості моста керованих коліс самохідної косарки з метою детального аналізу і виявлення переваг та недоліків. Виконано проектування для розробки принципово нової конструкції, шляхом покращення механізму повороту з визначенням силових факторів, які діють на елементи моста. Проаналізовано гідросхему повороту коліс, та запропоновано знизити потрібний тиск для повороту коліс і стабілізувати його в усьому діапазоні повороту. Сформовано методики щодо виявлення гідроциліндра, замикання якого в крайньому положенні дозволить мінімізувати навантаження на конструкцію моста і забезпечити його міцність при мінімальній матеріалоемності. Мінімізовано реакцію на замкненому колі в крайньому положенні гідроциліндра. Розроблено інтегровані критерії вибору гідроциліндра, який повинен замикатися сам на собі. Визначені навантаження на конструкцію моста керованих коліс косарки самохідної шляхом кінцево-елементного аналізу, що проводилося в крайніх положеннях гідроциліндрів шляхом замикання на собі одного гідроциліндра і додатку сили від другого по черзі. Проведено порівняльний аналіз напружено-деформованого стану для двох варіантів замикання гідроциліндрів механізму повороту моста керованих коліс самохідної косарки: із замкнутими штоковим і поршневым гідроциліндрами. Обчислені реакції для кожного з гідроциліндрів в крайніх положеннях повороту коліс. Розроблено рекомендації щодо вдосконалення механізму повороту самохідних косарок, проведено математичне та комп'ютерне моделювання конструкції моста керованих коліс. Проведено розрахунок розробленої конструкції на міцність та жорсткість.

Ключові слова: косарка самохідна, механізм повороту коліс, навантаженість конструкції моста, замикання гідроциліндра, інтегрований критерій.

O.I. MALAKOV, S.A. BURLAKA, R.O. YAROSHCHUK
Vinnytsia National Agrarian University

REDUCTION OF LOADING ELEMENTS OF THE CONSTRUCTION OF THE BRIDGE OF THE CIRCULATED SELF-CARPY CARTRIDGE BY THE RATIONAL INSTALLATION OF HYDROCYLINDERS

Constructive features of a self-propelled mower wheel steering wheel are presented for the purpose of detailed analysis and identification of advantages and disadvantages. Design has been done to develop a fundamentally new design, by improving the turning mechanism with the definition of force factors that act on the bridge elements. The hydraulic wheel rotation of the wheels is analyzed, and it is proposed to lower the required pressure for turning the wheels and stabilize it throughout the range of rotation. Formed methods for detecting a hydraulic cylinder, closing it in the extreme position will minimize the load on the construction of the bridge and provide its strength with minimal material capacity. Minimized reaction on a closed circuit in the extreme position of the hydraulic cylinder. Integrated criteria for choosing a hydraulic cylinder, which should be locked up on its own, are developed. The load on the design of the axle of the steering wheel of the mower is self-propelled by a finite-element analysis carried out in the extreme positions of the hydraulic cylinders by closing a single cylinder and applying the force from the second one in turn. A comparative analysis of the stress-strain state for two variants of the hydraulic cylinder closing of the turning mechanism of the axle of the steering wheel of the self-propelled mower: with closed rod and piston hydraulic cylinders. Calculated reactions for each of the hydraulic cylinders in the extreme positions of the turning of the wheels. Recommendations for improving the mechanism of rotation of self-propelled mowers were worked out, mathematical and computer modelling of the design of the bridge of the driven wheels was carried out. The calculation of the designed design for durability and rigidity is carried out.

Key words: self-propelled mower, wheel rotation mechanism, bridge construction load, hydraulic cylinder closure, integrated criterion.

Вступ

При проектуванні моста керованих коліс косарки самохідної доводиться вирішувати велику кількість різних за змістом завдань. Це забезпечення управління, мінімізація відведення, забезпечення жорсткості і міцності, зниження матеріалоемності. Загальні прийоми проектування мостів керованих коліс широко висвітлені в спеціальній технічній літературі [1–3]. Підбір та оптимізація механізму повороту коліс проводиться на ранній стадії проектування методами, описаними в [4, 5], з метою забезпечення керованості і мінімізації кутів відведення. В [6] також описані основні прийоми і принципи забезпечення міцності моста керованих коліс. При проектуванні механізму повороту коліс визначаються силові фактори, які діють на елементи моста. Саме з урахуванням дії цих факторів повинна бути забезпечена достатня міцність конструкції моста.

На більшості моделей самохідних косарок застосовується двоциліндрова схема повороту коліс. Використання цієї схеми дозволяє знизити потрібний тиск для повороту коліс і стабілізувати його в усьому діапазоні повороту. Однак при введенні в конструкцію двоциліндрової схеми, необхідно пам'ятати про те, що два гідроциліндра в крайньому положенні не замикаються одночасно. Тому реакція на замкненому гідроциліндрі від сили незамкнутого гідроциліндра з протилежного боку буде різною. Ця реакція може привести як до зниження навантаженості окремих локальних місць конструкції моста, так і до збільшення її до граничних значень.

Метою дослідження є формування методики щодо виявлення такого гідроциліндра, замикання якого в крайньому положенні дозволить мінімізувати навантаженість конструкції моста і забезпечить його міцність при мінімальній матеріалоемності.

Мета і задачі роботи

Для зниження навантаженості елементів конструкції моста необхідно мінімізувати реакцію на замкнутому в крайньому положенні гідроциліндрі.

В крайньому положенні один гідроциліндр працює поршневою порожниною і є «довгим», інший працює штоковою порожниною на втягування і є «коротким». Гідроциліндр, який працює поршневою порожниною, розвиває силу більшу, ніж гідроциліндр, що працює штоковою порожниною. Різниця величини сили, що розвивається штоковою і поршневою порожнинами гідроциліндрів, що використовуються в рульових механізмах, становить 20-50%. Тому логічно було б гарантовано замикати гідроциліндр, що працює поршневою порожниною, щоб незамкнутий гідроциліндр, який працює штоковою порожниною, реалізовував меншу силу. Однак не у всіх випадках це рішення є ефективним. Це пов'язано з тим, що в положенні близькому до крайнього кожен з гідроциліндрів має свою швидкість, яка відрізняється, і визначається кінематикою механізму повороту коліс. Ці швидкості гідроциліндрів в крайньому положенні або аналоги їх швидкостей, що обчислюються як похідна довжини кожного гідроциліндра по узагальненій координаті, дають передавальне відношення від одного гідроциліндра до другого. Дане передавальне відношення може відрізнятись в кілька разів, і в підсумку в крайньому положенні коліс реакція, що розвивається гідроциліндром, працюючим штоковою порожниною, буде більша, ніж реакція, що розвивається гідроциліндром, що працює поршневою порожниною. Тобто передавальне відношення від одного гідроциліндра до іншого є вирішальною причиною різниці реакції на замкнутому гідроциліндрі.

Так як реакція на замкнутому гідроциліндрі залежить як від величини сили, що розвивається незамкнутим гідроциліндром, так і від передавального відношення між гідроциліндрами, потрібна розробка інтегрованого критерію вибору гідроциліндра, який повинен замикатися сам на собі.

Методика вибору замикаючого гідроциліндра

Визначення навантаженості конструкції моста керованих коліс косарки самохідної шляхом кінцево-елементного аналізу проводилося в крайніх положеннях гідроциліндрів шляхом замикання на собі одного гідроциліндра і додатку сили від другого по черзі. При цьому елементи моста були пов'язані шарнірно, що дозволило передавати навантаження з одного борту моста на інший. Кінематичні передаточні функції зазвичай визначаються способом векторного аналізу [4]. Так як в даній роботі така мета не ставилася, то вирази (1) і (2) наведені для загального розуміння розв'язуваної задачі.

Для розробки інтегрованого критерію вибору гідроциліндра, який в крайньому положенні повинен замкнутися для мінімізації навантаженості елементів моста, визначимо реакцію на замкнутому гідроциліндрі від сили дії другого, незамкнутого гідроциліндра.

Реакція на замкнутому, працюючому поршневою порожниною на висування «довгому» гідроциліндрі, може бути визначена з виразу (1):

$$R_{нору} = F_{ум} \frac{U_{ум}}{U_{нору}}$$

де $F_{ум}$ – сила на незамкнутому «короткому» гідроциліндрі, що працює штоковою порожниною; $U_{ум}$ – аналог швидкості незамкнутого «короткого» гідроциліндра, працюючого штоковою порожниною; $U_{нору}$ – аналог швидкості замкнутого «довгого» гідроциліндра, що працює поршневою порожниною.

Реакція на замкнутому «короткому» гідроциліндрі, що працює штоковою порожниною на втягування, може бути визначена з виразу (2):

$$R_{ум} = F_{нору} \frac{U_{нору}}{U_{ум}}$$

де $F_{нору}$ – сила на незамкнутому «довгому» гідроциліндрі, що працює поршневою порожниною; $U_{нору}$ – аналог швидкості незамкнутого «довгого» гідроциліндра, що працює поршневою порожниною; $U_{ум}$ – аналог швидкості замкнутого «короткого» гідроциліндра, що працює штоковою порожниною.

Обчисливши реакції за виразами (1) і (2) для кожного з гідроциліндрів в крайніх положеннях повороту коліс, необхідно вибрати в якості замикаючого той гідроциліндр, який дає велике значення реакції.

Вирази (1) і (2) є інтегрованим критерієм вибору замикаючого гідроциліндра в крайньому положенні, так як враховують і величину сили, що розвивається гідроциліндром і передавальне відношення між ними.

Режим навантаження моста

Порівняльний аналіз напружено-деформованого стану проведено для двох варіантів замикання гідроциліндрів механізму повороту моста керованих коліс самохідної косарки: із замкнутими штоковим і поршневым гідроциліндрами. Розрахункові схеми для кожного з варіантів навантаження представлені на рис. 1 і 2.

Для проведення розрахунку прийняті: навантаження на міст $G = 25000$ Н без коефіцієнта динаміки в вертикальній площині; навантаження від гідроциліндрів, що виникає при закріпленні колеса від повороту і відповідна максимальному тиску на запобіжному клапані 140 кг/см²: для працюючого поршневою порожниною – $F_{\text{порш}} = 43640$ Н, для працюючого штоковою порожниною – $F_{\text{шт}} = 36770$ Н (див. рис. 1 і 2).

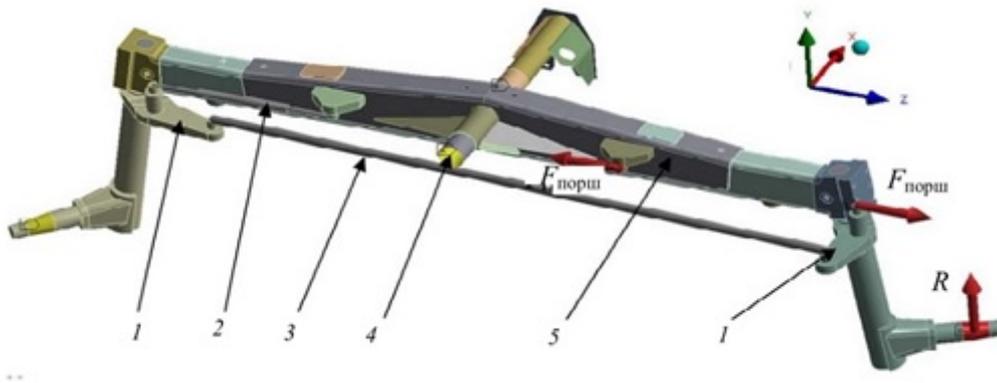


Рис. 1. Розрахункова схема конструкції моста керованих коліс косарки самохідної при замкнанні штокового гідроциліндра: 1 – важелі кулака; 2 – гідроциліндр; 3 – поперечна тяга; 4 – вісь гойдання балки моста; 5 – балка моста

У двох розрахункових схемах наведені наступні граничні умови і зв'язки. Між важелями 1 і поперечною тягою 3 прийняті сферичні шарніри, між гідроциліндром 2 і важелем 1 з одного боку та рамою моста 5 з іншого, задані також сферичні шарніри. Балка моста 5 в зоні осі гойдання 4 має заборону на переміщення. При цьому поворот балки моста навколо осі гойдання обмежений тим, що з однієї зі сторін моста на ступиці колеса задана заборона на переміщення в вертикальній площині. З боку другого колеса на маточину прикладена реакція R від ваги машини на міст (див. рис. 1 і 2). Для розрахунку статичної міцності прийнятий матеріал конструкційна сталь з наступними характеристиками: коефіцієнт Пуассона $\mu = 0,3$; модуль Юнга $E = 2 \times 10^{11}$ Па.

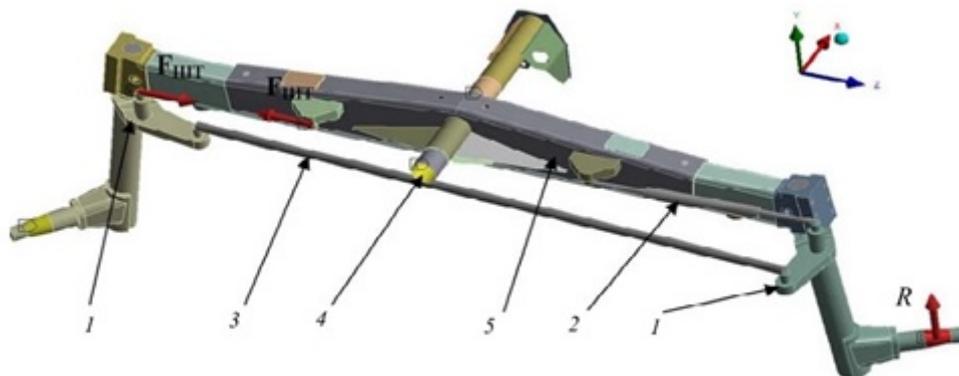


Рис. 2. Розрахункова схема конструкції моста керованих коліс косарки самохідної при замкнанні поршневого гідроциліндра: 1 – важелі кулака; 2 – гідроциліндр; 3 – поперечна тяга; 4 – вісь гойдання балки моста; 5 – балка моста

Напружено-деформований стан мосту керованих коліс в крайньому положенні з різним замиканням гідроциліндрів

На рис. 3 показані поля еквівалентних напружень моста косарки самохідної в крайньому положенні при замкнутому на собі «короткому» гідроциліндрі, працюючому штоковою порожниною, що продовжує розвивати силу «довгому» гідроциліндрів, який працює поршневою порожниною.

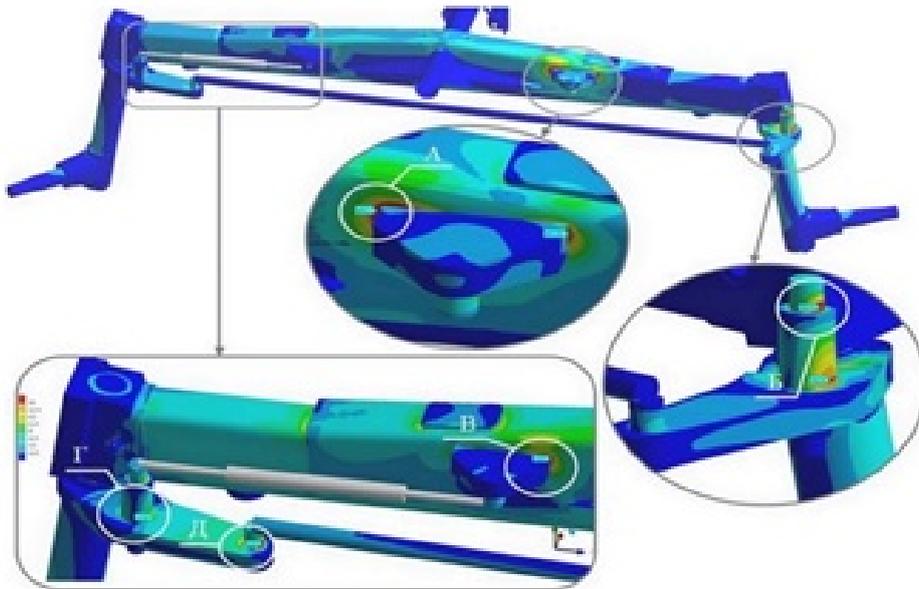


Рис. 3. Поля еквівалентних напружень в конструкції керованого моста із замкнутим штоковим гідроциліндром (діють поршневі сили)

На рис. 4 показані поля еквівалентних напружень моста косарки самохідної в крайньому положенні при замкненому на собі «довгому» гідроциліндрі, працюючому поршневою порожниною, і який продовжує розвивати силу «короткому» гідроциліндрові, що працює штоковою порожниною.

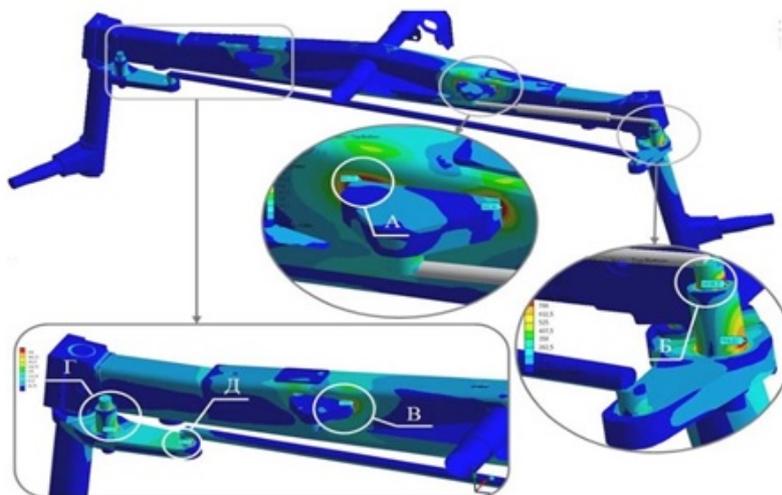


Рис. 4. Поля еквівалентних напружень в конструкції керованого моста із замкнутим поршневим гідроциліндром (діють штокові сили)

Як видно з порівняння рис. 3 і 4, при замиканні штокового гідроциліндра напружений стан локальних елементів приблизно в 2,2-3 рази нижчий, ніж при замиканні поршневого.

У табл. 1 і 2 зведені величини максимальних напружень в аналогічних зонах різних мостів при замиканні різних гідроциліндрів.

Таблиця 1

Результати розрахунків для моста із замкнутим штоковим гідроциліндром

Зони дії максимальних напружень	Величина максимальних напружень σ_{max} , МПа
Замикання штокового гідроциліндра	
Зона приварки кронштейна кріплення замкнутого штокового гідроциліндра (рис. 3, Зона А)	408
Зона приварки осі кріплення замкнутого штокового гідроциліндра (рис. 3, Зона Б)	401
Зона приварки кронштейна кріплення гідроциліндра (рис. 3, Зона В)	139
Зона приварки осі кріплення гідроциліндра працюючою поршневою порожниною (рис. 3, Зона Г)	117

В осі кріплення тяги (рис. 3, Зона Д)	182
---------------------------------------	-----

Таблиця 2

Результати розрахунку для моста з замкнутим поршневым гідроциліндром

Зони дії максимальних напружень	Величина максимальних напружень σ_{max} , МПа
Замикання поршневого гідроциліндра	
Зона приварки кронштейна кріплення замкнутого поршневого гідроциліндра (рис. 4, Зона А)	906
Зона приварки осі кріплення замкнутого поршневого гідроциліндра (рис. 4, Зона Б)	1030
Зона приварки кронштейна кріплення штокового гідроциліндра (рис. 4, Зона В)	375
Зона приварки осі кріплення штокового гідроциліндра (рис. 4, Зона Г)	360
В осі кріплення тяги (рис. 4, Зона Д)	440

На рис. 5 показана схема моста керованих коліс, яка наочно ілюструє ефект збільшення реакції при переході з лівого борту на правий, і, відповідно, зменшення при зворотному переході.

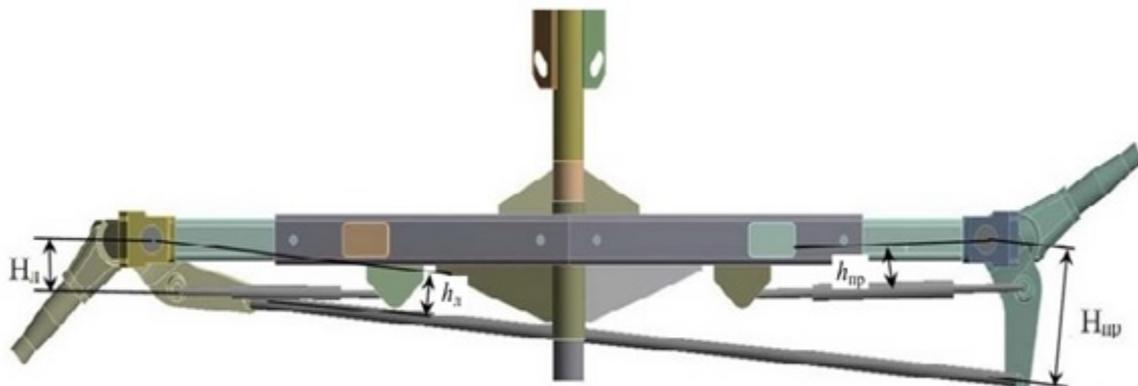


Рис. 5. Схема, що ілюструє збільшення і зменшення реакції при переході з одного борту на інший

Як видно з рис. 5, лівий гідроциліндр, що розвиває силу штоковою порожниною, знаходиться на більшому плечі, ніж тяга, і сила від нього на тягу переходить із збільшенням. Правий гідроциліндр знаходиться на меншому плечі, ніж тяга, і, відповідно, сила з тяги від лівого гідроциліндра переходить на правий гідроциліндр із збільшенням, та навпаки з правого на лівий із зменшенням. Значить, для цього моста в крайньому положенні першим повинен замикатися гідроциліндр, що працює штоковою порожниною.

Висновок. В результаті узагальнення викладеного можна зробити наступні висновки:

1. Величина реакції на замкнутому в крайньому положенні гідроциліндрі в меншій мірі залежить від величини сили, що розвивається незамкнутим гідроциліндром і більшою мірою від передавального відношення одного гідроциліндра до іншого.

2. Для виявлення гідроциліндра, який повинен замкнутися в крайньому положенні з метою мінімізації навантаженості елементів моста, необхідно користуватися інтегрованим критерієм оцінки величини реакції на замкнутому гідроциліндрі, що представляє собою утворення величини сили на незамкнутому гідроциліндрі і передаточне відношення між ними.

3. Незважаючи на те, що поршнева порожнина дає силу в 1,18 рази більшу, ніж штокова, замикання гідроциліндра, що працює штоковою порожниною в крайньому положенні, в результаті веде до зменшення навантаженості елементів моста в 2,2-3 рази.

4. Правильний вибір замикаючого в крайньому положенні гідроциліндра дозволяє істотно знизити навантаженість і, відповідно, матеріаломісткість моста керованих коліс самохідної косарки.

Література

1. Гуськов В. В. Трактори, теорія / В. В. Гуськов. – М. : Машинобудування, 1988. – 376 с.
2. Наумов Е. С. Рулевое управление колесных тракторов : учеб. пособие / Е. С. Наумов, В. М. Шарипов, И. М. Эглит. – М. : МАМИ, 1999. – 42 с.
3. Гришкевич А. И. Конструкция, конструирование и расчет. Системы управления и ходовая часть [Електронний ресурс] / А. И. Гришкевич. – Минск : Выш. шк., 1987. – Режим доступу : <https://www.twirpx.com/file/23725/>
4. Рехлицкий О. В. Математическое описание механизма поворота колес самоходной

сельскохозяйственной машины / О. В. Рехлицкий, Ю. В. Чупрынин, Д. В. Джасов // Механика машин, механизмов и материалов. – 2014. – № 2 (27). – С. 23–29.

5. Джасов Д. В. Применение векторного анализа для математического описания пространственных рычажных механизмов на примере моста управляемых колес сельскохозяйственной машины [Электронный ресурс] / Д. В. Джасов // Актуальные вопросы машиностроения : сб. науч. тр. – Минск. – 2013. – Режим доступа : <https://mnm.by/ru/readers?layout=edit&id=35&start=10>.

6. Кондрашова А. Н. Оптимизация конструкции моста управляемых колес косилки самоходной на основе анализа его твердотельной модели / А. Н. Кондрашова, Д. В. Джасов, В. Б. Попов // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2016. – № 4. – С. 35–40.

7. Сільськогосподарські машини. Основи теорії і розрахунку : підручник / Д.Г. Войтюк, В.М. Барановський, В.М. Булгаков та ін. ; за ред. Д.Г.Войтюка. – К. : Вища освіта, 2005. – 464 с. : іл. ISDN 966-8081-38-2

8. Будова косарок та косарок плющилок [Електронний ресурс] : Студопедія – лекційний матеріал для студентів. – Режим доступу : https://studopedia.su/14_79361_budova-kosarok-i-kosarok-plyushchilok.html

References

1. Guskov, VV Tractors, Theory / VV Guskov. - M.: Machine-building, 1988 - 376 pp.
2. Naumov, E.S. Steering control of wheeled tractors: study. allowance / E. S. Naumov, V. M. Sharipov, I. M. Eglit. - M.: MAMI, 1999. - 42 p.
3. Grishkevich A. I. Design, construction and calculation. Control systems and chassis [Electronic resource] / AI Grishkevich // Minsk: Vysh. shock - 1987. - Resource access mode: <https://www.twirpx.com/file/23725/>
4. Rehlytsky, O. V. Mathematical description of the mechanism of rotation of wheels of a self-propelled agricultural machine / O. V. Rehlytsky, Yu. V. Chuprynin, D. V. Dzhasov // Mechanics of machines, mechanisms and materials. - 2014 - No. 2 (27). - P. 23-29.
5. Jasov D.V. Application of vector analysis for the mathematical description of spatial lever mechanisms on the example of a bridge of controlled wheels of an agricultural machine [Electron resource] / D.V. Dzhasov // Actual questions of machine-building: sb. scientific tr - Minsk - 2013. - Resource access mode: <https://mnm.by/en/readers?layout=edit&id=35&start=10>.
6. Kondrasheva, A.N. Optimization of the construction of a self-propelled mower wheel steering wheel based on the analysis of its solid-state model / AN Kondrashov, DV Dzhasov, VB Popov // Vestn. Gomel state tech Un-them them. P.O. Sukhoi. - 2016. - No. 4. - P. 35-40.
7. Agricultural machines. Fundamentals of theory and calculation: Pytrukhnik / D.G.Voyiuk, V.M. Baranovsky, V.M. Bulgakov and others; for ed. D.G.Voytyuk - K. : Higher Education, 2005. - 464 pp. : il. ISDN 966-8081-38-2
8. The structure of mosquitoes and mosquito nets [Electronic resource]: Studios - lecture material for students / https://studopedia.su/14_79361_budova-kosarok-i-kosarok-plyushchilok.html

Рецензія/Peer review : 22.05.2018 р.

Надрукована/Printed :06.07.2018 р.

Стаття рецензована редакційною колегією