

О.Є. СКВОРЧЕВСЬКИЙ, канд. техн. наук, доц. НТУ «ХП»

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ НАЧІПНИХ СИСТЕМ ТРАКТОРІВ ТА ВИРОБЛЕННЯ КОНЦЕПТУАЛЬНИХ ЗАСАД ЇХ ВДОСКОНАЛЕННЯ

Метою даного дослідження є вироблення концептуальних засад вдосконалення начіпних систем тракторів. Поставлена мета реалізовувалась шляхом порівняльного їх аналізу. В результаті дослідження було визначено, що сучасна система є комплексом глибокоінтегрованих механічних, гідравлічних, електричних, електронних компонентів та може розглядатися як мехатронний модуль. Тільки такий комплексний підхід може забезпечити виконання усіх функцій та задач, що стоять перед сучасною начіпною системою трактора.

Целью данного исследования является разработка концептуальных основ усовершенствования навесных систем тракторов. Поставленная цель реализуется путем их сравнительного анализа. В результате исследования было установлено, что современная система является комплексом глубокоинтегрированных механических, гидравлических, электрических, электронных компонентов и может рассматриваться как мехатронный модуль. Только такой комплексный подход может обеспечивать выполнение всех функций и задач, которые стоят перед современной навесной системой трактора.

The aim of this study is to develop a conceptual framework to improve power lift of tractors. The goal is realized by means of comparative analysis. The study found that the current system is a complex mechanical, hydraulic, electrical, electronic components and can be regarded as a mechatronic module. Only such an integrated approach can ensure that all functions and tasks that confront the modern tractor power lift.

Постановка проблеми в загальному вигляді

Глобальні зміни клімату, виробництво біопалива, зростання споживання у країнах, що розвиваються, удорожчання енергоресурсів та інші причини провокують стійку тенденцію до зростання цін на продовольство. Можливості екстенсивного ведення сільського господарства вже практично вичерпані у більшості регіонів планети. Однією із основних тенденцій розвитку сучасного інтенсивного сільського господарства є точне землеробство, або як його часто називають прецизійне землеробство (precision agriculture).

Точне землеробство можна охарактеризувати, як управління продуктивністю угідь з урахуванням варіативності особливостей середовища розвитку рослин в межах одного поля. Метою такого управління є отримання максимального прибутку сільськогосподарського підприємства при обмежених господарчих та природних ресурсах. При цьому відкриваються можливості виробництва якісної, екологічно чистої продукції та збереження навколишнього середовища.

Точне землеробство включає в себе багато підходів та принципів, але всі вони умовно можуть бути розділені на три групи:

- збір інформації та створення баз даних, що характеризують сільськогосподарські угіддя, види та сорти рослин, особливості кліматичних умов тощо;

- аналіз інформації та вироблення управлінських рішень та рекомендацій;

- виконання рішень – проведення оптимальних агротехнічних операцій.

Очевидно, що для виконання оптимальних агротехнічних операцій необхідне сучасна сільськогосподарська техніка, що реалізує принципи мікропроцесорного керування із застосуванням адаптивних алгоритмів управління. В рамках даної роботи розглянемо нашіпну систему трактора, оскільки вона забезпечує інтеграцію трактора та знарядь та значною мірою визначає якість усього машино-тракторного агрегату. Сучасна електрогідравлічна нашіпна система із електронним мікропроцесорним керуванням дозволяє реалізовувати позиційний, силовий та комбінований способи регулювання глибини обробітки ґрунту, відслідковувати рельєф поля і, таким чином, забезпечувати умови точного землеробства на етапі підготовки ґрунту для вирощування рослин.

Останні досягнення та публікацій по вдосконаленню гідравлічних нашіпних систем

Технічна та технологічна відсталість вітчизняного тракторобудування створює широке поле для досліджень по створенню електрогідравлічних нашіпних систем вцілому та їх елементної бази. Аналітичний огляд науково-технічних досягнень та публікацій показав, що зацікавленість питанням сучасних електрогідравлічних нашіпних систем тракторів спровокувала поява на ринку України системи фірми BOSH REXROTH [1, 2]. Однак при виконанні інформаційно-аналітичного огляду за темою статті були виявлені лише публікації направлені на створення елементної бази електрогідравлічних приводів сільськогосподарської техніки, зокрема електрогідравлічних пропорційних розподільників із *LS*-керуванням [3-6 та ін.]. Як правило, в таких роботах за основу беруться гідрокінематична та електрогідравлічна схеми фірми BOSH REXROTH та замість оригінальних вузлів та агрегатів пропонується використання елементної бази, що розробляється та досліджується авторами. Публікацій в яких би пропонувалися нові конструктивні, схематичні рішення нашіпних систем тракторів виявлені не були. В той же час прорив у створенні конкурентоздатних електрогідравлічних нашіпних систем тракторів неможливий без створення їх нових гідрокінематичних та електрогідравлічних принципів схем.

Задачею даної статті є порівняльний аналіз гідрокінематичних та електрогідравлічних принципів схем нашіпних систем вітчизняного та закордонного виробництва. Виявлення основних вимог до них та формулювання концептуальних засад вдосконалення нашіпних систем тракторів.

Аналітичний огляд конструктивних рішень гідравлічних начіпних систем тракторів

Основні тенденції розвитку сільськогосподарського машинобудування можна визначити за результатами найбільшої в світі спеціалізованої міжнародної виставки AGRITECHNIKA-2011 [7, 8 та ін.], що проходила в Німеччині з 13 по 20 листопада 2011 р. у виставковому павільйоні м. Ганновера та займала 18 залів загальною площею більше 320000 м². В роботі виставки приймали участь більш ніж 2700 фірм, навчальних та науково-дослідних організацій із 48 країн світу. Серед основних напрямків розвитку тракторної техніки експертами були виділені два, а саме: підвищення потужності тракторів та насичення усіх систем тракторів, причіпних та начіпних знарядь керуючою електронікою. Доцільність підвищення потужності тракторів викликає сумніви у більшості аналітиків, в той час як використання керуючої електроніки традиційно розглядається як прогресивний підхід. Саме в цьому ключі проаналізуємо конструктивні рішення начіпних систем, що знайшли найбільшого вжитку в Україні.

На сучасних тракторах застосовують уніфіковану гідравлічну начіпну роздільно-агрегатну систему, яка полегшує працю тракториста, дає змогу покращити тягово-зачепні властивості колісних універсально-просапних тракторів шляхом збільшення їх зачіпної ваги, забезпечує автоматичне регулювання глибини обробки ґрунту.

Трактор, обладнаний начіпною системою, разом з начіпною машиною (знаряддям) утворюють машинно-тракторний агрегат.

Для приєднання до трактора причіпних сільськогосподарських машин і знарядь, а також різних двовісних причепів, які створюють лише поздовжнє навантаження на тягових пристроях і рухаються зі швидкістю до 4 м/с, призначені причіпні пристрої.

Для приєднання до трактора двовісних причепів при роботі зі швидкістю понад 4 м/с на деяких тракторах застосовують буксирні пристрої.

Начіпний механізм, що входить до складу начіпної системи, призначений для приєднання до трактора начіпних та напівначіпних машин та знарядь, переведення їх у транспортний та робочій стан, а також для забезпечення правильного їх положення під час роботи.

Начіпний механізм універсально-просапних тракторів [9], представлений на рис. 1, складається з двох поздовжніх тяг 4 з подовжувачами 10 (або без них), шарнірно закріплених на корпусі заднього моста; центральної тяги 8, з'єднаної з датчиком силового регулювання (не показаний), або кронштейном, що закріплені на корпусі заднього моста; поворотного вала з підйомними важелями 5; лівого та правого розкосів 3, обмежувальних ланцюгів 11 із стяжками 12. Начіпна машина приєднується до кінців нижніх поздовжніх тяг 4 та верхньої центральної тяги 8 сферичними шарнірами 1. Важіль 7 з'єднаний зі штоком 6 силового циліндра.

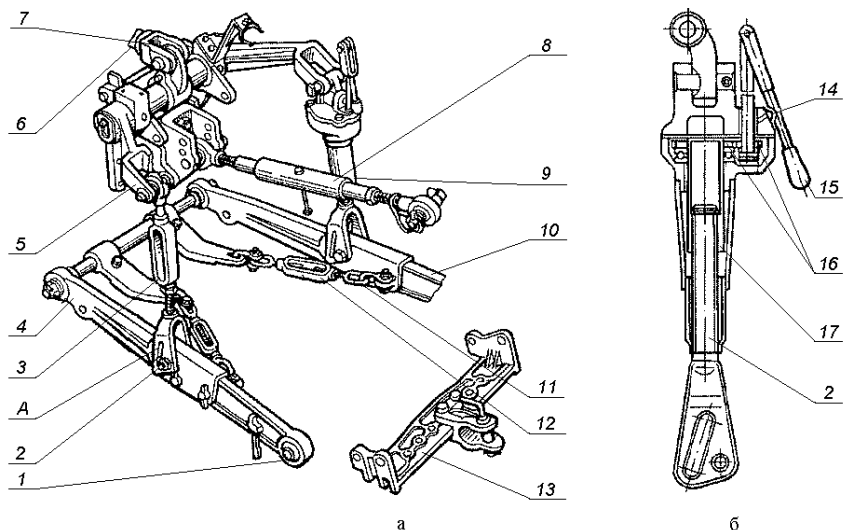


Рисунок 1 – Начіпний механізм універсально-просапних тракторів:

а – будова; б – регульовальний розксіс;

- 1 – сферичний шарнір; 2 – вилка розкосу; 3 – лівий розксіс; 4 – нижня повздовжня тяга; 5 – підйомний важіль; 6 – шток циліндра; 7 – поворотний важіль; 8 – верхня центральна тяга; 9 – редуктор правого розкосу; 10 – подовжувач; 11 – обмежувальні ланцюги; 12 – стяжка ланцюга; 13 – причіпний пристрій; 14 – маслянка; 15 – рукоятка; 16 – шестеренна передача; 17 – труба розкоса.

Система працює наступним чином. При втягуванні штока 6 всередину циліндра поворотний важіль 7 обертає вал, який через підйомні важелі 5 і розкоси 3 піднімає нижні тяги 4 разом з начепленою машиною (знаряддям). Для обмеження переміщень начіпних машин застосовують обмежувальні ланцюги 11. При роботі із широкозахватними машинами болт, який з'єднує розксіс з повздовжньою тягою, переставляється із отвору в поріз А, передбачену у вилці 2 розкосу 4. У начіпному механізмі регулюють довжину центральної тяги 8 і правого розкосу 9. Довжину центральної тяги 8 підбирають таким чином, щоб при опущеному знарядді носки передніх і задніх робочих органів начіпного знаряддя (наприклад лемешів плуга) були на однаковій глибині. Якщо знаряддя нахилене, його встановлюють горизонтально, змінюючи довжину правого розкосу. Лівий розксіс 3 має постійну довжину і підчас роботи з начіпними машинами його не регулюють. Довжину правого розкосу змінюють обертанням рукоятки 15, яка через шестеренну передачу 16 діє на гайку гвинтового механізму. Щоб гарантувати безпеку підчас транспортних переїздів агрегатів із начіпними машинами, на начіпних механізмах тракторів МТЗ установлений механізм фіксації.

Начіпні механізми такого типу знайшли досить широке розповсюдження у складі агрегатів із начіпними машинами виробництва країн СНД. Таке

широке застосування обумовлене простотою конструкції, надійністю, дешевизною. Однак, начіпні механізми такого типу, через необхідність ручної зміни довжини центральної тяги 8 і правого розкосу 9, не відповідають сучасним вимогам ергономічності та техніки безпеки. Крім того, їх застосування підвищує металоємкість машинно-тракторного агрегату.

Уніфікований начіпний механізм тракторів загального призначення [9] має іншу будову (рис. 2). Шток 1 силового циліндра з'єднаний з важелем 2, який хитається на валу 5 і вільно спирається на жорстко закріпленій на валу підйомний важіль 4. З протилежного боку на валу 5 так само закріпленій другий підйомний важіль 7. На центральній тязі 8 встановлено двосторонній пружинний амортизатор 6 для пом'якшення поштовхів та ударів, що передаються начіпним знаряддям на трактор під час руху по нерівній місцевості. Нижні поздовжні тяги 12 та 16 телескопічні, фіксуються пальцями 13. Така будова полегшує приєднання до трактора важких машин та знарядь.

Поршень гідроциліндра через шток 1 та важелі 2, 4 повертає вал 5, а через підйомні важелі 4 та 7 піднімає начеплену машину. Опускання відбувається під дією її ваги. При роботі трактора з начіпними машинами, які заглиблюються примусово, поворотний важіль 2 штока 3 і підйомний важіль 4 жорстко з'єднують пальцем, який встановлюють в отвір 3. Забороняється вставляти палець в отвір при роботі з машинами, які на потребують примусового заглиблення, оскільки це може спричинити їх поломку.

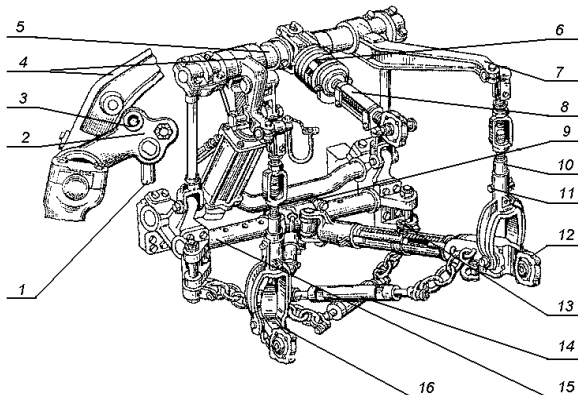


Рисунок 2 – Універсальний начіпний механізм тракторів загального призначення:
 1 – шток гідроциліндра; 2, 4, 7 – важелі; 3 – отвір; 5 – вал; 6 – амортизатор;
 8 – центральна тяга; 9 – упор; 10 – розкіс; 11, 13 – пальці; 12, 16 – нижні поздовжні тяги; 14 – натяжний пристрій; 15 – вісь.

Начіпний механізм дає змогу приєднувати до трактора загального призначення машини за дво-, три- і чотириточковими схемами.

Двоточкову схему застосовують при роботі з плугами. При роботі по такій схемі передні кінці обох нижніх тяг повинні знаходитись в одній точці на вісі 15 і закріплені упорами 9. Друга точка – це точка приєднання центральної тяги 16.

Триточкову схему використовують для роботи із широкозахватними машинами, які повинні рухатись тільки заданою тракторією, без великих коливань (сівалки, культиватори тощо). При налагодженні начіпного механізму за цією схемою передні кінці повздовжніх тяг пересуваються на краї вісі 15 і закріплені у цьому положенні упорами 9 при цьому звільняються від фіксуєчих пальців 10, що дає змогу начіпній машині вільно копіювати нерівності поля у площині перпендикулярній до напрямку руху.

Чотириточкову схему застосовують при роботі тракторів із землерийними машинами (бульдозер, навантажувач тощо). Начіпний механізм має дві центральні тяги, які забезпечують стійкість зняття.

Уніфікований начіпний механізм тракторів загального призначення знайшов широке застосування завдяки своїй універсальності. Однак застосування такого начіпного механізму теж підвищує металоємкість машинно-тракторного агрегату та не відповідає сучасним вимогам ергономічності та техніки безпеки.

Гідравлічна система призначена для керування машинами, зняттями та іншими робочими органами. Типова гідравлічна система тракторів [9, 10, 11] представлена на рис. 3. До її складу входять бак 1, насос 2, розподільник 6, силовий циліндр 10, трубопроводи. Гідророзподільник 6 може керуватись, через тяги 3, за допомогою важелів 4. Фільтр 5 з індикатором забруднення встановлений в зливній лінії. Розривні муфти (не показані) з'єднують рукави з виносними циліндрами, встановленими на причіпних машинах і запобігають розриву трубопроводу та втраті оливи при аварійному роз'єднанні агрегату.

Забезпечення заданої постійної глибини обробки ґрунту – одна з найважливіших вимог агротехніки. Для більшості сільськогосподарських машин з опорними колесами застосовуються механічні гвинтові регулятори глибини. Задану глибину оранки встановлюють методом зміни положення опорного колеса по висоті відносно опорної частини робочих органів зняття. Регулятори такого типу називають висотними. Регулювання за допомогою опорного колеса потребує ручного налагодження.

Нині все ширше застосовують автоматичні способи регулювання глибини обробки ґрунту – позиційний або силовий спосіб регулювання. Позиційний спосіб регулювання глибини характеризується тим, що постійним підтримується вибране положення начіпного зняття відносно трактора. Силовий спосіб регулювання глибини обробки ґрунту базується на підтриманні тягового опору начіпної машини або зняття, обумовлене їх положенням відносно трактора.

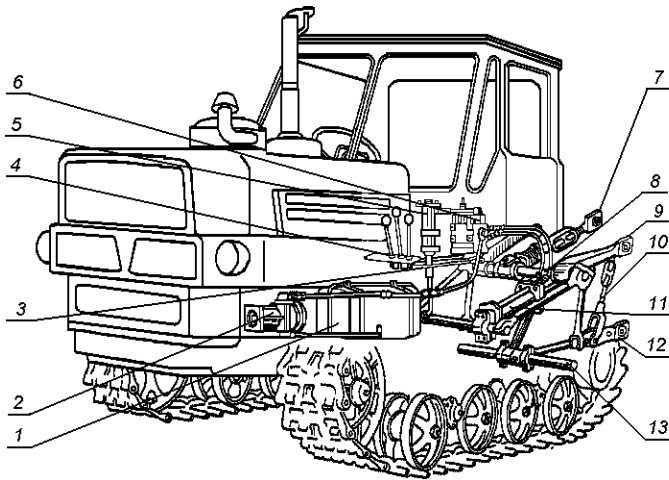


Рисунок 3 – Гідравлічна начіпна система трактора Т-150:

- 1 – бак; 2 – насос; 3 – тяги гідророзподільника; 4 – важелі гідророзподільника; 5 – фільтр; 6 – гідророзподільник; 7 – верхня центральна тяга; 8 – вал; 9 – поворотний важіль; 10 – розкіс; 11 – гідроциліндр; 12 – нижня повздовжня тяга; 13 – вісь.

Силовий спосіб регулювання застосовують при оранці поля з нерівним рельєфом, на пухких, піщаних та супіщаних ґрунтах, а позиційний на прямолінійних ділянках. Позиційний спосіб регулювання найбільш прийнятний, коли за вимогами агротехніки необхідно точне встановлення начіпної машини або знаряддя відносно трактора.

В довідному посібнику [10] представлена принципова гідрокінематична схема роботи роздільно-агрегатної начіпної системи трактора МТЗ-80. Приведена система може працювати, як в позиційному, так і в силовому режимі регулювання глибини обробки ґрунту. При позиційному способі регулювання вибране положення начіпного знаряддя відносно трактора автоматично підтримується за допомогою спеціального гідравлічного регулятора глибини, який через розкіс, важіль та тяги, зв'язаний з нижньою поздовжньою тягою начіпного механізму та реагує на її відхилення від заданого положення. При силовому способі регулювання глибини обробки ґрунту сигналом для гідравлічного регулятора глибини є зусилля стиску або розтягування верхньої центральної тяги начіпного механізму.

Однак, наявність в описаній системі додаткових гідравлічних елементів та механічних тяг, важелів тощо підвищують металоемкість машини, збільшують габарити, ускладнюють монтаж та технічне обслуговування.

Розвиток гідропривода та його все більша інтеграція з електронікою не могли не зачепити тракторобудування як одну з провідних галузей машинобудування. Розвиток гідравлічного обладнання іде як шляхом

створення більш досконалих насосів та гідроапаратури, котрі можуть підтримувати ряд параметрів гідросистеми, як засобами гідравліки, так і шляхом передачі все більшої кількості функцій керуючій електроніці. Саме комбінація найбільш ефективних засобів з обох принципів дозволяє спроектувати гідросистему трактора, що поєднує в собі можливість виконання складних процесів сучасного сільськогосподарського виробництва, зручність керування, економічність, надійність, простоту обслуговування та ремонтпридатність агрегатів.

Таким вимогам відповідають гідравлічні напіпні системи західноєвропейських виробників, зокрема фірми BOSCH REXROTH [1, 2]. На рис. 4 представлена напіпна система трактора запропонована в роботах [1, 2]. Така система побудована за принципом *LS*. Термін *LS* (*load sensing* – відчуває навантаження) застосовується для гідравлічних систем, в яких миттєвий тиск навантаження служить сигналом зворотного зв'язку для керуючого пристрою. За допомогою клапанів різниці тиску на дроселях або на дроселюючих щілинах золотників підтримується постійний перепад тиску. Це обумовлює незалежність швидкості руху гідродвигуна від навантаження на ньому [12].

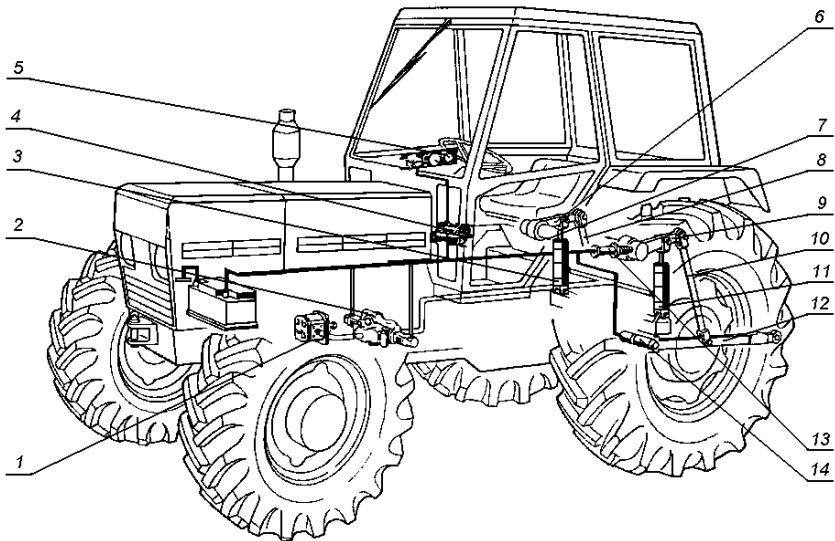


Рисунок 4 – Гідравлічна напіпна система конструкції фірми BOSCH REXROTH:

- 1 – насос; 2 – керуючий гідророзподільник; 3, 11 – гідроциліндри; 4 – керуючий електронний блок; 5 – панель керування; 6, 9 – поворотні важелі; 7 – вал; 8, 10 – розкоси; 12 – поздовжня тяга; 13 – датчик положення; 14 – датчик зусилля.

Керування начіпною машиною або зряддям здійснюється за допомогою панелі 5 керування, яка встановлена в кабіні тракториста, та керуючого електронного блоку 4. Керуючий гідророзподільник 2, що живиться від насосу 1, отримує сигнал керування від керуючого електронного блоку 4. Гідроциліндри 3, 11, що зв'язані з гідророзподільниками трубопроводами (не позначені), через поворотні важелі 6, 9, що закріплені на валу 7, розкоси 8, 10 приводять до руху поздовжні тяги 12. Інформація про реальні параметри роботи начіпної машини або зряддям керуючий електронний блок 4 отримує від датчика 13 положення та датчика 14 зусилля. При застосуванні такої схеми можуть бути здійснені, як силовий так, і позиційний спосіб регулювання глибини обробки ґрунту. Крім того, використання гідрокінематичної схеми з двома гідроциліндрами, які керуються гідророзподільниками виконаними за принципом LS , дозволяють розвантажити несучі частини трактора від сил, що діють в площині перпендикулярній руху трактора та здійснити гасіння частини вібрацій, що дозволяє з більшою швидкістю та меншими коливаннями машини рухатись по нерівній місцевості.

Таким чином, із усіх розглянутих гідрокінематичних схем найкращою є схема представлена в роботах [1, 2].

Спроби знайти детальну інформацію про начіпні системи інших іноземних виробників наприклад John Deere, Fendt, New Holland та ін. не дали результатів. В загальному доступі є лише інформація про технічні характеристики та функціональні можливості начіпних систем тракторів вказаних та інших фірм. Однак враховуючі функціональні можливості можна зробити висновок, що начіпні системи мають електрогідравлічний привод із мікропроцесорним керуванням.

Таким чином, сучасна начіпна система є комплексом механічних, гідравлічних, електричних та електронних компонентів та може розглядатися як мехатронна система.

Вироблення концептуальних засад вдосконалення начіпних систем тракторів

В результаті проведеного аналізу визначено основні вимоги, що ставляться до сучасних начіпних систем тракторів, а саме:

1. забезпечення силового, позиційного та комбінованого способів обробки ґрунту в автоматичному режимі і таким чином забезпечення сталості глибини оранки при змінних умовах в межах одного поля;

2. інтеграція начіпної системи із іншими системами трактора, зокрема із двигуном та трансмісією, із метою зменшення пробуксовки коліс, підвищення плавності руху машино-тракторного агрегату і, таким чином, економії пального, покращення умов роботи тракториста, зменшення кількості аварій та несправностей, підвищення якості обробки ґрунту;

3. розвантаження рами та інших несучих частин трактора від поперечних навантажень, що виникають підчас роботи начіпного

обладнання, шляхом замикання компенсації цих навантажень електрогідролічним приводом напівної системи;

4. активне гасіння коливань напівної обладнання, що виникають при його транспортуванні по перетинній місцевості;

5. зменшення масових та габаритних характеристик напівної системи.

Виконання цих та інших вимог до напівної системи тракторів вимагають створення нових гідрокінематичних та електрогідролічних схем, а також розробки вітчизняної елементної бази для їх реалізації.

Серед інших найбільш перспективних напрямків досліджень потрібно відзначити можливість введення контурів зворотного зв'язку по тиску в порожнинах гідроциліндрів напівної системи і, таким чином, реалізації силового, позиційного та комбінованого способів регулювання глибини обробки ґрунту. Використання електрогідролічної елементної бази модульної конструкції зменшить масові та габаритні характеристики машино-тракторного агрегату, спростить ремонтні роботи. Насоси із пропорційним електричним керуванням дозволить значно підвищити коефіцієнт корисної дії електрогідролічного приводу напівної системи та дозволять узгодити режими її роботи із роботою двигуна та трансмісії. Застосування мікропроцесорного управління створить можливість адаптивного управління агротехнічними операціями при змінних рельєфах полів із урахуванням обмеженої потужності гідролічного агрегату живлення.

Таким чином вдосконалення існуючих та створення нових електрогідролічних напівних систем тракторів вимагають проведення цілого комплексу науково-технічних робіт.

Список літератури: 1. Краткое описание системы EHR-4 с регулирующим устройством EHR-D для тракторов. BOSCH REXROTH // Матеріали семінара. – Харків, 2000. 2. Бондарь В.А. Новые решения в гидроприводе тракторов // Промислова гідроліка і пневматика – Вінниця, 2003. – №2. – С. 81-86 3. Лурье З.Я., Цента Е.Н., Макей В.А. Динамический синтез гидроагрегата навесного оборудования трактора // Промислова гідроліка і пневматика. – Вінниця: ВНАУ. – № 4 (22), 2008. – С. 103-107. 4. Лурье З.Я., Макей В.А., Цента Е.Н. Математическое моделирование динамики гидроагрегата навесного оборудования трактора // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2008. – № 2/4 (32). – С. 36-41. 5. Лозинський Д.О. Пропорційний електрогідролічний розподільник з незалежним керуванням потоків для мобільних машин : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.08 “Машинознавство” / Д.О. Лозинський – Вінниця, 2010. – 20 с. 6. Репінський С.В. Система керування аксіально-поршневого регульованого насоса з профільованим вікном золотника комбінованого регулятора подачі: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.02.08 “Машинознавство” / С.В. Репінський – Вінниця, 2011. – 20 с. 7. www.agritechnica.com. 8. Дивак Ю.С. Agritechnica-2011 // Інформаційно-рекламний журнал Агробізнес України. – № 6, 2011. – С. 8-16. 9. Білоконь Я. Ю., Окоча А. І. Трактори і автомобілі. – К.: Урожай, 2002. 10. Востуков В. К. Гидравлические и пневматические схемы сельскохозяйственных машин: Справочное пособие. – Мн.: Выш. шк., 1985. 11. Ловкис З. В. Гидроприводы сельскохозяйственной техники: конструкция и расчет. – М.: Агропромиздат, 1990. 12. Jonson O. Load-sensing systems control speed accurately // HYDRAULICS & PNEUMATICS, March 1995. p. 33-36.

Надійшла до редакції 03.04.2012