

**Т.І. Рибак, проф., д-р техн. наук, П.В. Попович, доц., канд. техн. наук,
М.Я. Сташків, доц., канд. техн. наук**
ТДТУ ім. І. Пулюя, м. Тенюпіль

Концепція пошукового конструювання мобільної техніки в АПК

Розглянуто концептуальні підходи пошукового конструювання мобільних сільськогосподарських машин з прогнозуванням ресурсу роботи, обґрунтовано ефективність при вирішенні вказаних аналітично – пошукових і експериментально – дослідницьких проблем.

пошукове конструювання, прогнозування, ресурс, навантаженість, мобільні с/г машини

Постановка проблеми. Технічний ресурс - показник довговічності, що характеризує запас можливого напрацювання об'єкту. Згідно ГОСТ 27.002—89 ресурсом називають напрацювання об'єкту від початку, або відновлення експлуатації до настання граничного стану. Залежно від того, як вибирають початковий момент часу, в яких одиницях вимірюють тривалість експлуатації і що розуміють під граничним станом, поняття ресурсу отримує різне тлумачення. Як міра тривалості може бути вибраний параметр, характеризуючий тривалість експлуатації об'єкту, причому, якщо напрацювання вимірювати числом виробничих циклів, то ресурс набуватиме дискретних значень. З точки зору загальної методології, універсальною одиницею є одиниця часу. По-перше, час експлуатації технічного об'єкту в загальному випадку включає не тільки час його корисного функціонування, але і перерви, протягом яких сумарне напрацювання не зростає. У такі перерви об'єкт піддається дії навколишнього середовища, навантаженням, що виникають при транспортуванні і т. д. Окрім того, під час перерв функціонування властивості матеріалів можуть змінюватися (процес старіння матеріалів викликає зменшення загального ресурсу, ін.). По-друге, призначений ресурс тісно пов'язаний з призначеним терміном служби, визначуваним як календарна тривалість експлуатації об'єкту до його списання і вимірюваним в одиницях календарного часу. Призначений термін служби в значній мірі пов'язаний з темпами науково-технічного прогресу в даній галузі. Застосування економіко-математичних моделей для обґрунтування призначеного ресурсу вимагає вимірювання ресурсу не тільки в одиницях напрацювання, але і в одиницях календарного часу. По-третє, в задачах прогнозування залишкового ресурсу функціонування об'єкту на відрізьку прогнозування є випадковий процес, аргументом якого є час. Таким чином, напрацювання набуває змісту випадкової функції часу [5,6].

При розгляді проблематики ресурсу об'єктів сільськогосподарської (с\г) техніки, необхідно враховувати, що більшість с\г машин працюють при значних динамічних навантаженнях, вібраціях, коливаннях температури і вологості, при підвищеному забрудненні. Сезонність сільськогосподарських робіт приводить до високих навантажень у відносно короткочасний період роботи. Виникає

проблема тривалого зберігання в міжсезонні інтервали. Рівень технологічних процесів і приймального контролю не завжди забезпечують високий клас точності з'єднань і високу бездефектність. Якість технічного обслуговування і умови зберігання в сільському господарстві нижчі ніж в інших галузях. Вказані чинники обумовлюють зниження ресурсу більшості сільськогосподарських машин. Крім того, існує великий розкид показників довговічності окремих деталей і вузлів, хоча розрахунок, конструювання, виготовлення і технічна експлуатація повинні забезпечувати узгодження цих показників. Таким чином, збільшення ресурсу представляє серйозний резерв для економії засобів, матеріалів, енергії. Так, збільшення ресурсу парку машин, в середньому, на 10 % еквівалентно, приблизно, 10 % економії на виробництві нових машин. Ресурс в значній мірі залежить від навантажень, які діють на елементи машини або конструкції. Правильний вибір матеріалів і коректний розрахунок — основні джерела підвищення ресурсу без значного подорожчання конструкції машини. Оскільки прогнозування ресурсу включає встановлення залежності його від всіх зовнішніх і внутрішніх чинників, розробку методів прогнозування слід розглядати як один з найважливіших наукових напрямків загальної проблематики ресурсу [5,7].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Однією з найважливіших і одночасно найскладніших задач теорії і практики машинобудування (у т. ч. сільськогосподарського) є підвищення надійності (довговічності) конструкцій [1-4,7]. Особливе місце займає прогнозування ресурсу на стадії експлуатації. На відміну від стадії проектування, коли прогнозу підлягає ресурс генеральної сукупності ще не створених технічних об'єктів, прогнозування на стадії експлуатації виконують для конкретних існуючих об'єктів. При цьому оцінці підлягають залишковий ресурс і (або) залишковий термін служби. Залишковий термін служби визначає той період, протягом якого слід чекати грошові потоки, і тому його величина істотно впливає на розрахункову величину ринкової вартості. Також визначення залишкового ресурсу необхідне для визначення залишкової вартості і, відповідно, вартості заміщення об'єкту. Отже, точність оцінки ринкової вартості машин і устаткування у великій мірі залежить від того, наскільки правильно визначений залишковий термін служби (залишковий ресурс) оцінюваного об'єкту. Індивідуальне прогнозування ресурсу відкриває додаткові шляхи для отримання економічного ефекту [7,8].

Мета досліджень. З причини природної різниці властивостей об'єктів та різних умов їх експлуатації (включаючи історію вантаження кожного з них) індивідуальні показники ресурсу лежать в широких межах. У парку з 108 машин фактичний ресурс до першого капітального ремонту має межі — від 155 до 370 тис. км. Індивідуальне прогнозування ресурсу не тільки дозволяє попереджати можливі відмови і непередбачені граничні стани, але і правильніше планувати режими експлуатації, профілактичні заходи і постачання запасними частинами. Більш того, перехід до індивідуального прогнозування веде до збільшення середнього ресурсу машин, оскільки зменшує частку машин, що передчасно знімаються для ремонту, і відкриває шлях для обґрунтованого вибору оптимального терміну експлуатації. У ряді випадків рентабельна експлуатація може бути продовжена в умовах знижених навантажень. Тому можна розглядати прогнозування індивідуального залишкового ресурсу як систему управління процесом експлуатації і технічного обслуговування. Проте впровадження індивідуального прогнозування вимагає

додаткових витрат на засоби технічної діагностики, на прилади, реєструючі рівень навантажень і стан об'єкту, на створення мікропроцесорів для первинної переробки інформації, на розробку математичних методів і програмного забезпечення, що дозволяють отримувати обґрунтовані висновки на основі зібраної інформації [5,7].

Результати досліджень. Проблематика конструювання і виготовлення базових вузлів с\г, особливо мобільних, на сучасному рівні пов'язана з оптимізацією їх елементів за матеріаломісткістю, геометрією побудови основних принципів схем та прогнозуванням ресурсу роботи. Загальновідомо, на сьогодні у світовій практиці домінує принцип забезпечення обмеженого ресурсу тримких систем машин з встановленою імовірністю неруйнування, отже значно підвищуються вимоги до точності оцінки ресурсу – помилки призводять до спонтанних передчасних відмов, або до завищеної металоємності металокопонування.

1. В стратегічному плані концепція пошукового конструювання мобільних сільськогосподарських машин з прогнозуванням ресурсу роботи, досягає ефекту при вирішенні на належному рівні наступних аналітично – пошукових і експериментально-дослідницьких проблем;

2. Розвиток нових і систематизація існуючих аналітичних напрацювань з позиції ресурсу роботи конструктивних структур, виходячи з енергетичного балансу структури мобільної с\г машини: за механізмами навантаженості металокопонування формується типологія вузлів і для кожного, на основі першого закону термодинаміки, будуються розрахункові моделі з складанням балансу енергії та зміни швидкості енергії для металокопонування, подальшим обчисленням швидкості руйнування і, прогнозуванням ресурсу роботи з врахуванням стану матеріалу, його дефектності і всіх фізико-хімічних факторів, які діють на нього при експлуатації машини. Вирішення задач в динамічній постановці, враховуючи енергію деформації від депланації елементів копонування відкритого і замкнутого профілів. Комплексний підхід до розв'язку нелінійних задач при збуренні динамічних процесів в залежності від характеру ґрунтів, жорсткості підвіски сільськогосподарської техніки, тощо;

3. Визначення реальної динаміки навантаженості розглядуваного об'єкта, шляхом проведення ґрунтовних експериментальних досліджень в умовах експлуатації машин у найбільш характерних рельєфах і кліматичних зонах, з вибором особливостей оброблюваних площ, що є найбільш трудомісткою і дороговартісною експериментально-дослідницькою проблемою. Наступною процедурою є статистична обробка і систематизація отриманого цифрового фактажу за трьохкомпонентними динамічними характеристиками, числових значень навантажень;

4. Створення відправної бази, тобто вироблення критеріїв оцінки міцності, або "життєздатності" копонування. Зарубіжні фірми США, Англії, Італії, Франції, Німеччини з проектування і виробництва с\г техніки оцінюють довговічність копонування при втомному руйнуванні з позицій циклічної тривкості копонування виходячи з факторів їх дефектності (на кафедрі технічної механіки і с\г машинобудування ТДТУ такі трудомістки і дорогі аналітичні та лабораторні дослідження проводяться у поєднанні з експлуатаційними даними);

5. Видача оптимізованих параметрів копонування (відповідно ефективності вирішення проблеми, п.1, 2, 3) за геометрією поперечних перетинів їх елементів і побудовою принципів схем, з прогнозованим ресурсом роботи в цілому на графопобудову, або верстати з ЧПК; формування пакету робочої конструкторської документації.

I. Теоретична частина досліджень.

Для оцінки характеру напруженого стану елементів конструкції і визначення шляхів пошуку їхніх оптимізованих параметрів значення має теоретичний підхід до визначення силових факторів у перерізі елемента за повним напруженим станом.

При розробці теоретичних засад аналізу та розв'язку складних статично невизначених конструкцій, усунення невідомих в'язей несучих систем, досить ефективним є метод, оснований на принципі мінімуму потенціальної енергії деформації та модифікація цього методу з врахуванням енергії деформації від стисненого кручення і розробка на цій основі комбінованого методу, що поєднує в собі варіаційний принцип Лагранжа, узагальнений принцип додаткової енергії Холінгена-Рейснера, метод скінчених елементів, теорему Кастильяно, теорему про найменшу роботу, правило Лейбніца з диференціювання підінтегральних функцій - для статичного і динамічного розрахунку [7]:

$$U_{\omega} = \sum \int_1 \frac{B_{\omega}^2 ds}{2EI_{\omega}} \quad \text{при системі рівнянь} \quad \frac{\partial U_{\omega}}{\partial B_{\omega_i}} = 0, \quad (1)$$

де B_{ω} - згинально – крутний бімомент, $H \cdot m$;

I_{ω} - секторіальний момент інерції, m^6 .

У випадку дії на стрижневу систему динамічного навантаження значення невідомих узагальнених зусиль і переміщень величини визначають з рівнянь [3]

$$\frac{\partial \Pi}{\partial Q_i} = 0; \quad \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} = m_i \cdot \frac{d^2 q_i}{dt^2}, \quad (2)$$

m_i - інерційні характеристики мас (маси і моменти інерції) вузлів системи;

Далі задача вирішується у варіантній постановці – знайти таку систему узагальнених переміщень, що надають мінімум функціоналу повної потенційної енергії. Якщо розрахункова схема складається з кінцевих елементів і +1 вузлів, то для випадку збіжності усіх осей кінцевих елементів функціонал повної потенційної енергії прийме вигляд

$$\begin{aligned} \Phi = & \sum_{i=0}^{i=1} (U_{sz}^{(i,i+1)} + U_{np}^{(i,i+1)} + U_{cmk}^{(i,i+1)}) - \sum_{i=1}^m \left[(N_i - N_i^{(i,i-1)} - N_i^{(i,i+1)}) \bullet U_{xi} + (Q_{yi} - Q_{yi}^{(i,i-1)} - Q_{yi}^{(i,i+1)}) \bullet U_{yi} \right. \\ & + (Q_{zi} - Q_{zi}^{(i,i-1)} - Q_{zi}^{(i,i+1)}) \bullet U_{zi} + (M_{xi} - M_{xi}^{(i,i-1)} - M_{xi}^{(i,i+1)}) \bullet \gamma_{xi} + (M_{yi} - M_{yi}^{(i,i-1)} - M_{yi}^{(i,i+1)}) \bullet \gamma_{yi} + \\ & \left. (M_{yi} - M_{yi}^{(i,i-1)} - M_{yi}^{(i,i+1)}) \bullet \gamma_{yi} + (-B_i^{(i,i-1)} - B_i^{(i,i+1)}) \bullet \chi_i \right], \quad (3) \end{aligned}$$

де Q_{zi} , N_i , M_{yi} , M_{zi} , M_{ki} , B_i -компоненти векторів зовнішнього навантаження, приведеного до базового вузла;

i - номер вузла.

II. Експериментальні дослідження динамічних навантажень.

Для визначення реального навантаження деталей і конструкцій машин на стадіях проектування, випробування дослідних зразків в реальних умовах експлуатації, великого значення набувають експериментальні методи досліджень, які дозволяють отримати надійні дані для оцінки ресурсу машин при стохастичних змінах умов [7].

Сучасний експеримент, як правило, вимагає синхронної реєстрації величин, таких як параметри руху, сили, час, тиск, температуру і т.п. Тому зараз знаходять широке застосування багатоканальні інформаційно-вимірювальні системи, що забезпечують отримання і обробку інформації від різноманітних датчиків в реальному часі.

Для визначення динамічних навантажень, що виникають в реальних умовах експлуатації машин, розроблені і виготовлені спеціальні вимірювальні пристрої [3], стандартні і натуральні зразки, а також пристрої для їх випробувань на універсальному обладнанні (Рис. 1). Це дозволяє складати програми випробувань для визначення динамічних показників у найбільш характерних умовах експлуатації. Методика експериментальних досліджень реалізується здебільшого встановленням спеціальних динамометрів, наприклад, під опори основних мас на раму, вісь ходової частини, в опори штанги, насоса, силового агрегату, вентиляторної установки обприскувачів, акселерометрів кутових швидкостей (АКШ), акселерометрів прискорень (АП) в центрах мас секцій, а також динамометричних тяг для с\г причепів, плугів, сівалок, тощо (Рис. 2-3) . Вимірювані величини реєструються в пам'яті мікрокомп'ютера з наступною статистичною обробкою та систематизацією результатів (Табл. 1).

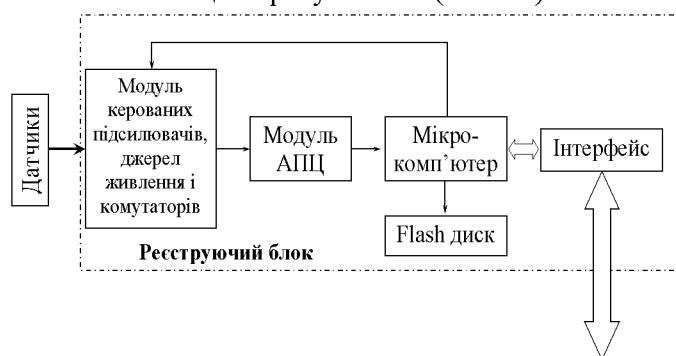
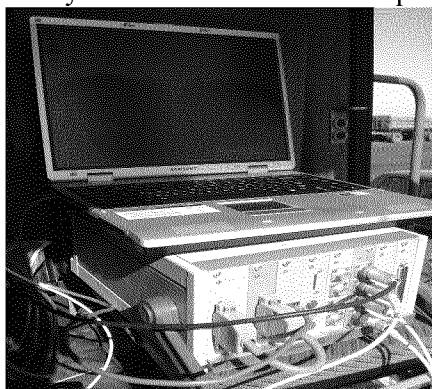
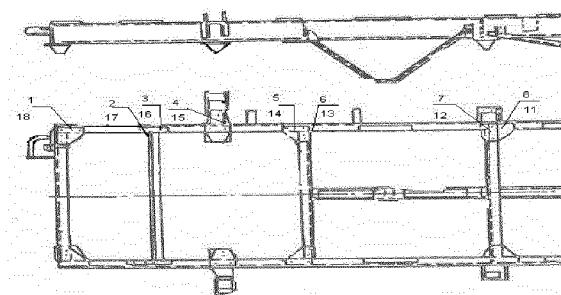
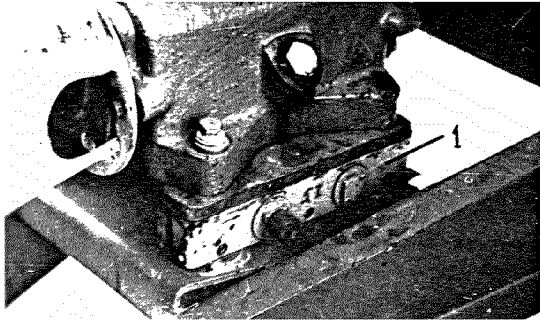


Рисунок 1 - Загальний вигляд і принципова схема універсальної вимірюваної системи для дослідження навантаженості мобільних машин

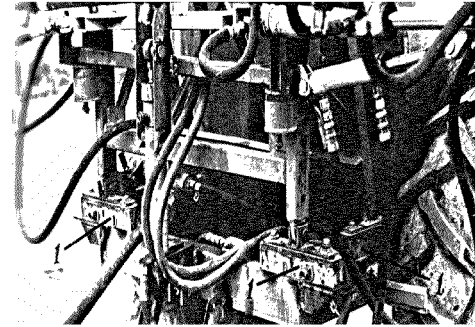


а) б)

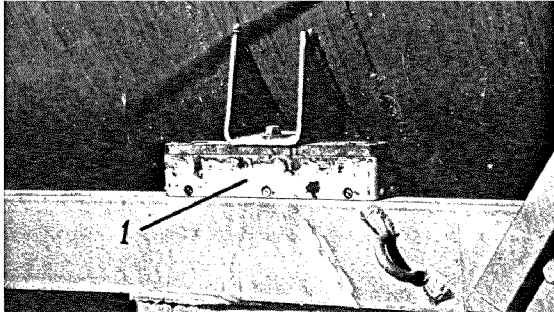
Рисунок 2 - Схема розміщення динамометрів (а) і тензодатчиків (б) у тракторному причепі 2ПТС -4 моделі 887Б (ОАО "Механический завод "Калачинский")



а)



б)



в)

а – насоса; б – штанги; в – бака; 1 – динамометр

Рисунок 3 - Приклад розміщення динамометрів в опорах на раму обприскувачів

Таблиця 1- Амплітуди змінних напружень тримкої рами причепа тракторного 2ПТС -4 (887Б)

| № датчика | Амплітуди напружень, МПа | | | № датчика | Амплітуди напружень, МПа | | |
|-----------|--------------------------|---------|------|-----------|--------------------------|---------|------|
| | Макс. | Середн. | Мін. | | Макс. | Середн. | Мін. |
| 1. | <30 | - | - | 10 | 98 | 57 | 33 |
| 2. | 38 | 36 | 31 | 11 | 140 | 80 | 35 |
| 3. | 43 | 32 | 30 | 12 | 105 | 52 | 24 |
| 4. | 170 | 77 | 36 | 13 | 127 | 53 | 31 |
| 5. | 118 | 61 | 39 | 14 | 98 | 54 | 26 |
| 6. | 140 | 69 | 35 | 15 | 178 | 87 | 38 |
| 7. | 117 | 58 | 37 | 16 | 390 | 380 | 360 |
| 8. | 161 | 70 | 38 | 17 | 360 | 340 | 310 |
| 9. | 84 | 49 | 31 | 18 | <300 | - | - |

Реєстрація випадкових величин проводиться на лазерних дисках (можна на магнітних стрічках), з наступним введенням числових даних в пам'ять комп'ютера і статистичною обробкою та систематизацією цих результатів у такій послідовності [7]:

- визначення трьохкомпонентних динамічних характеристик в певних опорах, центрах мас, тягах тракторної трьохточкової навіски та інших необхідних перетинах;

- повне дослідження динаміки навантаженості проводиться у відповідності до розробленого проспекту з режимом виконання технологічного процесу машинно – тракторним агрегатом;

- визначення фактичних напружень в окремих контрольних перетинах безпосереднім наклеюванням тензорезисторів і встановлення таким чином адекватності аналітичних значень отриманих відповідно з методикою;

- аналіз і статистична обробка отриманих результатів для визначення номінальних значень досліджуваних динамічних факторів.

Отримані статистичні дані дозволяють, за допомогою аналітичних досліджень, визначити компоненти напруженого стану і характер їх зміни в часі (середні значення, максимальні і мінімальні напруження, їх частоту і т.п.) у відповідності до умов експлуатації.

На наступних стадіях розрахунку доцільно провести аналітичне дослідження НДС конструкції з дефектністю у виділеному перетині і експериментально визначити основні характеристики циклічної дефектотривкості перетину даного вузла в цілому.

III. Вироблення критеріїв оцінки міцності і довговічності конструкцій.

Складність вироблення критеріїв оцінки міцності і прогнозування ресурсу роботи, полягає перш за все у різнопрофільному наборі складових елементів цих конструкцій та специфіки їх з'єднань між собою. Оптимізувати такі конструкції складно через відсутність фактичних характеристик їх циклічної дефектостійкості зі структурною зміною матеріалу в біляшовній зоні у відповідності до конкретної технології виготовлення, особливо, складних зварних стикових з'єднань, а також геометрії поперечних перетинів тонкостінних елементів, відкритого та замкнутого профілю.

Реалізація методики вироблення критеріїв оцінки міцності і прогнозування ресурсу роботи конструкцій, схематизовано проводиться у наступній послідовності:

- дослідження кінетики розвитку дефектності натурних елементів конструкцій, наприклад, лонжеронів рам.

- одержання аналітичних залежностей для визначення коефіцієнтів інтенсивності напружень (КІН), δ - розкриття тріщин.

- визначення характеристик дефектності матеріалів металоконструкцій;

- побудова діаграми руйнування натурних профілів, наприклад, лонжеронів рам з поперечинами;

- одержання залежностей для прогнозування довговічності з врахуванням специфіки конструкцій, а також зміни властивостей металу (границі витривалості, ін.) при розвитку тріщин;

- отримання теоретичної залежності визначення критеріїв оцінки тонкостінних відкритих і замкнутих профілів елементів конструкцій з врахуванням залишкових напружень від додаткових силових факторів; побудова емпіричної автомоделі подібності.

IV. Автоматизація виконання креслярських процедур за проблемою:

Відповідно до отриманих параметрів, розробляється машинне конструювання, включаючи особливості:

- наявність взаємозв'язку між процедурами формування та читання креслень;

- єдиний параметричний підхід до опису геометричних об'єктів і їх зображень;

- наявність процесів алгоритмічного зв'язку основних класів геометричних та графічних задач. Видача оптимізованих параметрів на графопобудову з формуванням пакету робочої конструкторської документації.

Викладені матеріали ефективно спрацювали при конструюванні найбільш складної сільськогосподарської техніки в динамічній постановці задач викладені матеріали ефективно спрацювали при конструюванні найбільш складної сільськогосподарської техніки в динамічній постановці задач.

Висновок. Обклеювання тих чи інших конструкцій системою тензорезисторів (за прикладом авіаторів, автомобілістів та інших проектних організацій мобільного машинобудування) і визначення їх напружено – деформівного стану процес не раціональний і малоефективний, найбільш раціонально і ефективно є визначення реальної циклічної навантаженості в опорах або кріпленнях конструктивної системи, шляхом встановлення спеціальних вимірювальних пристроїв, з паралельною наклейкою тензорезисторів лише у контрольних перетинах. Такий підхід забезпечує перенесення отриманої експериментальної бази даних (з використанням напрацьованих алгоритмів в динамічній і нелінійній постановці задач) не тільки на проектування розглядуваної конструкції, але і на аналогового типу машин і забезпечує, в комплексі, прогнозування довговічності з оптимізацією ресурсу роботи, також при модернізації і удосконаленні даного типу конструкцій.

Список літератури

1. Гуков Я.С. Проблеми вітчизняного сільськогосподарського машинобудування та шляхи їх вирішення//Техніка АІ ІК. 2006. -№ 5.-С. 12.
2. Шибанін В.С. Перспективи розвитку сільськогосподарського машинобудування в Україні // Вісник агра науки Причорномор'я. - 2007. - № 2 (41). - С. 3-10.
3. Кравчук В. Пріоритетні напрямки наукових досліджень при прогнозуванні, випробуванні та сертифікації техніки і технологій АПК//Техніка АПК. - 2008. -№ 1.-С. 6-7.
4. Погорельый Л.В., Анилович В.Я. Испытания сельскохозяйственной техники: научно-методические основы оценки прогнозирования надежности сельскохозяйственных машин. Феникс, 2004. - 208 с.
5. В.В. Болотин. Прогнозирование ресурса машин и конструкций. –М. Машиностроение, 1984.-312с. :ил.
6. М. Черновол, С. Гранкін, В. Малахов, В. Черкун. Надійність с/г техніки.- К.: Урожай, 1998. -208с.: іл.
7. Рыбак Т.І. Пошукове конструювання на базі оптимізації ресурсу мобільних сільськогосподарських машин. Підручник-посібник. Тернопіль. “Збруч”, 2003.-332с.
8. Щурин К.В. Прогнозирование и повышение усталостной долговечности несущих систем сельскохозяйственных транспортных средств.// Автореф. дис. докт. техн. наук. 05.20.01. Оренбург. - 1994. – 46с.

Т. Рыбак, П. Попович, М. Сташків

Концепция поискового конструирования мобильной техники в АПК

Рассмотрены концептуальные подходы поискового конструирования мобильных сельскохозяйственных машин с прогнозированием ресурса работы, обоснованно эффективность при решении указанных аналитически – поисковых и экспериментально – исследовательских проблем.

T. Rybak, P. Popovich, M. Stashkiv

Conception of the searching constructing of mobile technique is in AIC

Conceptual approaches of the searching constructing of mobile agricultural machines are considered with prognostication of resource of work, grounded efficiency at the decision of indicated analytically – searching and experimentally – research problems.

Одержано 14.09.09