МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ НА ТЕМУ “СКЛАДАННЯ СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНИХ СХЕМ ТА ГРАФІВ ПРИЧИННО-НАСЛІДКОВИХ ЗВ’ЯЗКІВ ГІДРОАГРЕГАТІВ” ТА “ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І ДІАГНОСТУВАННЯ ГІДРОПРИВОДІВ МАШИН” З КУРСУ “ДІАГНОСТИКА І КОНТРОЛЬ ГІДРОПНЕВМОПРИВОДІВ”

для студентів спеціальності 7.090209 “Гідравлічні та пневматичні машини”

Затверджено
редакційно-видавничою
радою університету
протокол №3 від 08.12.06

Харків НТУ «ХПІ» 2008

Методичні вказівки до практичних занять на тему “Складання структурно-функціональних схем та графів причинно-наслідкових зв’язків гідроагрегатів” та “Оптимізація режимів технічного обслуговування і діагностування гідроприводів машин” з курсу “Діагностика і контроль гідропневмоприводів” для студентів спеціальності 7.090209 “Гідравлічні і пневматичні машини”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2008. – 36 с.

Укладачі: П.М. Андренко
О.В. Дмитрієнко
О.Б. Панамарьова
М.С. Свинаренко

Рецензент: *М.С. Степанов*

Кафедра гідропневмоавтоматики і гідроприводу

ВСТУП

Метою цих методичних вказівок є рекомендації щодо самостійного вивчення розділів “Складання структурно-функціональних схем та графів причинно-наслідкових зв’язків гідроагрегатів” та “Оптимізація режимів технічного обслуговування і діагностування гідроприводів машин” курсу “Діагностика і контроль гідропневмоприводів”. А також засвоєння матеріалу, набуття практичних навичок зі складання структурно-функціональних схем, оптимізації обслуговування і діагностування систем та елементів гідроприводів.

Перед проведенням практичного заняття студент повинен ознайомитися з даними методичними вказівками і добре з’ясувати для себе предмет і мету практичного заняття.

Окрім цього, необхідно кожну тему опрацювати за декількома літературними джерелами. Конспект має бути з полями, де треба виписувати зауваження і робити позначки під час повторного опрацювання теми. Для повного засвоєння матеріалу необхідно самостійно розв’язати подані завдання.

Метою вивчення теми є отримання студентами знань, які відповідають інженерному рівню в галузі технічного діагностування систем гідропневмоприводів (ГПП). Після вивчення зазначених тем необхідно вміти складати структурно-функціональні схеми та графи причинно-наслідкових зв’язків гідроагрегатів (ГА), вибирати оптимальні режими технічного обслуговування систем ГПП.

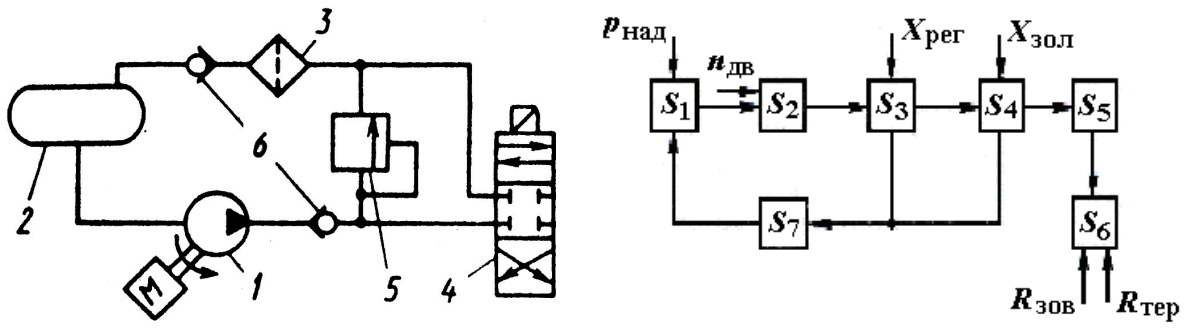
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 1

СКЛАДАННЯ СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНИХ СХЕМ ТА ГРАФІВ ПРИЧИННО-НАСЛІДКОВИХ ЗВ'ЯЗКІВ ГІДРОАГРЕГАТІВ

Мета заняття. Скласти структурно-функціональну схему гідравлічного приводу та граф причинно-наслідкових зв'язків ГА.

1.1. Методичні вказівки

Основні особливості побудови структурно-функціональних схем гідравлічних приводів розглянемо на прикладі спрощеної схеми гідравлічного приводу, як показано на рис. 1.1 (а, б).



а *б*

Рисунок 1.1 – Схеми гідроприводу з насосом постійної подачі:
а – гідравлічна: *1* – насос постійної подачі; *2* – бак; *3* – фільтр; *4* – золотниковий гідророзподільник; *5* – зворотній клапан; *б* – структурна: S_i – *i*-й блок структурної схеми гідроприводу, що відповідає *i*-му елементу гідравлічної схеми

Робота гідросистеми приводу полягає у наступному. Робоча рідина з баку S_1 самопливом або під тиском $p_{над}$ подається на вхід насосу S_2 постійної подачі. Привід насосу здійснюється від двигуна внутрішнього згорання, частота обертання якого $n_{дв}$ може змінюватися, в той час, як подача насосу залежить від режиму роботи двигуна. Від насосу робоча рідина подається до регулятора тиску S_3, що керується оператором за допомогою керуючого сигналу $X_{рег}$. Регулятор підтримує в лінії нагнітання потріб-

ний тиск $p_{рег}$, зливаючи надлишок робочої рідини в зливну магістраль. Робоча рідина під тиском $p_{рег}$ надходить на вхід золотникового розподілювача S_4, положення золотника якого залежить від керуючого сигналу $X_{зол}$. При переміщенні золотника відповідно до сигналу $X_{зол}$ робоча рідина з лінії нагнітання, дроселюючись на напірній кромці золотника, потрапляє в одну з порожнин гідроциліндра S_5. Друга порожнина гідроциліндру через зливну кромку золотника з'єднується зі зливною магістраллю. Вихідний шток гідроциліндру сполучений з органом керування S_6 машини. Зусилля, що розвиває гідроциліндр, переборюючи зовнішнє навантаження на орган керування $R_{зов}$ та сили тертя $R_{тер}$, переміщує орган керування S_6. Робоча рідина у зливній магістралі надходить від регулятора тиску S_3 та золотникового гідророзподільника S_5, проходить через фільтр S_7 та потрапляє в бак S_1.

Особливістю роботи золотникового гідророзподільника S_4 є наявність витоків робочої рідини в зливну магістраль, розмір яких залежить від перепаду тиску $p_{рег} - p_{зл}$ між магістраллю нагнітання та зливною магістраллю системи. З метою спрощення побудови структурно-функціональної схеми з розщепленими параметрами для системи гідроприводу, що розглядається, в ній упущено ряд елементів, таких як запобіжний клапан, холодильник, фільтр тонкого очищення в напірній магістралі та деякі інші.

Структурно-функціональна схема гідроприводу, що розглядається, з розщепленими параметрами наведена на рис. 1.2. Розщеплення вектору вихідних параметрів блоків структурної схеми робилося за наступними складниками: витрата робочої рідини Q, тиск p, перепад тиску на агрегаті Δp. При необхідності в число розщеплених складників можуть бути додані: температура робочої рідини $t_р$, її забрудненість, пульсація тиску в лінії нагнітання та ряд інших параметрів, що характеризують стан потоку робочої рідини на виході з агрегату. Додатково в число розщеплених параметрів для гідробаку S_1 входить рівень рідини $H_б$ у баці, кількість внутрішніх витоків $Q_{вит.зол}$ для золотникового розподілювача S_4.

Розщепленими параметрами для виконавчого гідродвигуна (гідроци-

ліндра S_5) будуть наступні: тиск p_1 та p_2 у порожнинах гідроциліндра, витрати рідини, що надходить до напірної порожнини гідроциліндра $Q_{н.ц}$ та тієї, що витискається зі зливної порожнини $Q_{зл.ц}$, а також зусилля $R_{шт}$ на вихідному штоку та швидкість його переміщення $v_{шт}$. Вихідним параметром системи є швидкість переміщення $v(t)$ керуючого органа S_6 або час його переміщення за повний робочій хід.

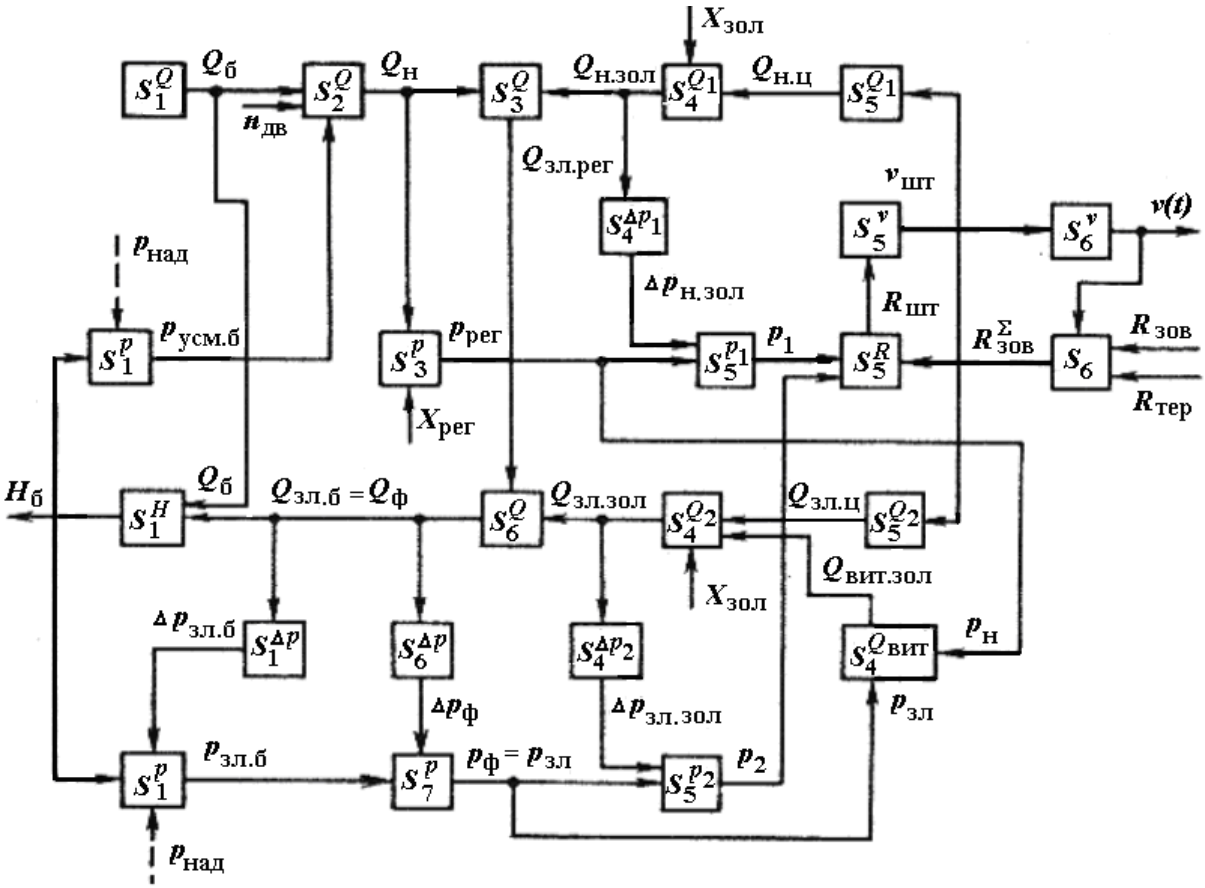


Рисунок 1.2 – Структурно-функціональна схема гідроприводу з розщепленими параметрами:

$S_i^Q, S_i^p, S_i^{\Delta p}, S_i^R, S_i^V, S_i^{Q_в}, S_i^H$ – розщеплення блоку S на субблоки за параметрами Q, p, Δp, R, V, $Q_в$, $H_б$

До зовнішніх параметрів можна віднести наступні: тиск наддуву гідробака $p_{над}$, зовнішнє навантаження $R_{зов}$ та силу тертя $R_{тер}$ органа керу-

вання, а також частоту обертання $n_{\text{дв}}$ привідного вала насоса. Керуючими зовнішніми сигналами є $X_{\text{рег}}$ та $X_{\text{зол}}$.

При побудові структурно-функціональної схеми з розщепленими параметрами враховувалося, що перепад тиску на ГА або його елементі залежить від витрати робочої рідини через ГА та гідравлічний опір. При цьому зниженням тиску по довжині трубопроводів зневажаємо або враховуємо його при визначенні перепаду тиску на відповідному агрегаті.

Слідує мати на увазі, що при зміненні режиму роботи гідроприводу може відбуватися змінення внутрішніх зв'язків між блоками S_i^j, змінення параметрів зовнішніх впливів X_i, а ряд агрегатів або елементів можуть бути виключені з схеми функціонування. Наприклад, при відсутності керуючого сигналу $X_{\text{зол}}$ та знаходження золотникового гідророзподільника у нейтральному положенні перекривається подача робочої рідини до гідроциліндра S_5. Таким чином, кожному режиму роботи гідроприводу повинна відповідати своя структурно-функціональна схема з розщепленими параметрами.

При побудові функціональних схем з розщепленими параметрами слід також враховувати наступні особливості роботи систем гідроприводів. Вважають, що у системі відсутні розриви суцільності потоку рідини. Витрата рідини у системі визначається витратою рідини через гідродвигуни та загальними витоками у системі. Тиск у напірній лінії системи визначається налаштуванням регулятора тиску або при застосуванні насоса змінної подачі та гідравлічного акумулятора – робочою точкою характеристики гідроакумулятора, положення якої залежить від співвідношення витрат у системі та подачі насоса. В останньому випадку тиск $p_{\text{н}}$ за насосом змінної подачі буде визначатися тиском на вході гідроакумулятора та гідравлічним опором ділянки гідросистеми між насосом та гідроакумулятором. Тиск p_i на вході інших агрегатів напірної ділянки буде рівним тиску p_{i-1}, що підводиться, за виключенням перепаду тиску Δp_i на агрегаті внаслідок його гідравлічного опору. Тиск в зливній магістралі системи визначається гідравлічним опором агрегатів та елементів зливної магістралі і витратою робочої рідини. Рівень робочої рідини в гідробаку залежить від співвідно-

шення витрати робочої рідини, що витікає з бака – $Q_б$, та тієї, що потрапляє в бак, – $Q_{зл.б}$.

Отримані функціональні схеми з розщепленими параметрами для складних систем гідравлічних приводів машин рекомендовано використовувати як діагностичні моделі для подальшої розробки діагностики гідравлічних приводів.

1.2. Побудова логічних моделей

Номінальне значення вихідних функціональних параметрів гідравлічних приводів, як правило, наведені в технічних умовах. Сукупність номінальних значень вихідних параметрів для кожної конкретної системи гідроприводу визначає область їх допустимих значень. Аналогічно визначається область допустимих значень і для вихідних функціональних параметрів окремих агрегатів, що входять в систему гідроприводу. Контроль технічного стану гідроприводів при експлуатації в багатьох випадках проводять з використанням оцінок виду “в допуску – не в допуску”, “в нормі – не в нормі”, “в ТУ – не в ТУ”, а саме, тут має місце допусковий спосіб діагностування. У зв’язку з використанням допускових оцінок при контролі технічного стану систем гідравлічних приводів машин виникає прагнення багатьох вітчизняних та закордонних дослідників застосувати при розробці діагностики гідравлічних приводів математичні моделі логічного типу, а для аналізу останніх – методи алгебри – логіки.

Логічна модель системи гідравлічного приводу може бути побудована шляхом перетворення її структурно-функціональної схеми з розщепленими параметрами, в якій функціональні блоки S_i замінюються на блоки логічної схеми W_i. Входи та виходи таких блоків вважаються двоїчними логічними вхідними (вихідними) змінними, що приймають значення “істина” (1), якщо значення відповідних їх входів (виходів) допустимі (знаходяться в межах ТУ), і значення “неправда” (0) – в іншому випадку.

Застосування логічних моделей для цієї діагностики потребує виконання ряду умов і, перш за все, правильності всіх включених в логічну схему об’єкта діагностування блоків, а саме, щоб при наявності декількох входів $y_i = \{y_{ji}\}$ кожен i-й блок мав тільки один вихід z_i. При цьому вихід

z_i блока був би припустимим тільки в тому випадку, коли всі його входи припустимі ($y_{ji} = 1$) і блок W_i працює. У цьому випадку вихідну функцію блока можна розглядати як кон'юнкцію змінних y_i та W_i:

$$z_i = y_i \cdot W_i . \tag{1.1}$$

Логічна модель об'єкта вважається правильною, якщо для будь-якої пари блоків підмножества припустимих значень входу та виходу і підмножества їх неприпустимих значень співпадають, якщо вихід одного з блоків є входом другого, а для блоків, що мають однакові входи, підможества припустимих значень та підмножества неприпустимих значень їх входів співпадають.

Вводячи в логічну схему системи, що досліджується, можливі в експлуатації гідроприводу несправності, отримуємо для кожного випадку сукупність параметрів логічних блоків $\{z_i\}$, що набувають значення "1" або "0" залежно від відповідності значень z_i вимогам ТУ. Якщо система справна, то значення виходів усіх логічних блоків повинні набувати значення "1".

Як приклад побудування логічної схеми гідроприводу розглянемо функціональну ділянку гідропідйомника, спрощені принципова та структурна схеми якого наведені на рис. 1.3 (*а, б*). Підйом або опускання платформи підйомника S_3 здійснюються за допомогою гідродвигуна S_2, робоча рідина до якого під тиском $p_{\text{н}}$ подається через золотниковий кран S_1. Відпрацьована рідина відводиться у зливну магістраль, тиск в якій $p_{\text{зл}}$. Керування золотниковим краном здійснюється за допомогою керуючого сигналу *x*. Зовнішніми впливами системи є зусилля $R_{\text{зов}}$ та сила тертя $R_{\text{тер}}$ гідропідйомника.

Логічна схема системи, що розглядається для режиму підіймання платформи, наведена на рис 1.3, *в*. Блоками логічної схеми є "розщеплені" блоки структурної схеми, входи та виходи яких мають властивість двоїчних логічних змінних. Якщо керуючі (*x*) та зовнішні ($p_{\text{н}}$, $p_{\text{зл}}$, $R_{\text{зов}}$, $R_{\text{тер}}$) параметри знаходяться в межах вимог ТУ, то для справної системи виходи кожного логічного блоку W_{ij} будуть мати значення "1" та вихідний пара-

метр системи – швидкість підйому платформи $v(t)$ також буде відповідати вимогам ТУ.

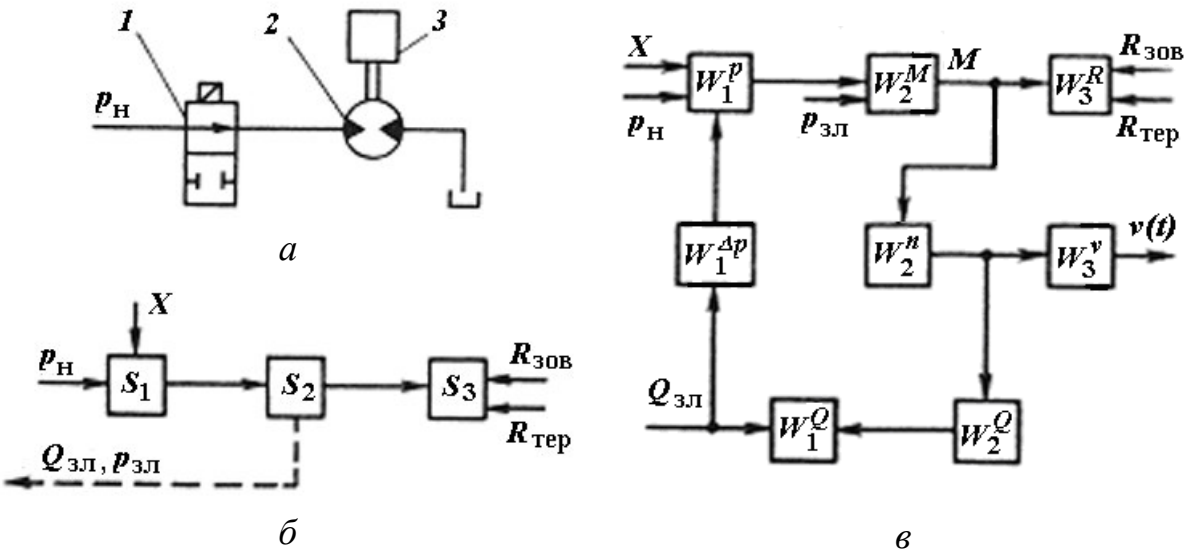


Рисунок 1.3 – Схема функціональної ділянки гідроприводу підйомника:
а – гідравлічна: *1* – електромагнітний кран; *2* – гідродвигун; *3* – платформа; *б* – структурна; *в* – логічна: S_i та W_i – *i*-є блоки структурної та логічної схем, що відповідають *i*-му елементу функціональної ділянки гідроприводів

При виникненні несправності у системі, наприклад, при збільшенні внутрішніх витоків у гідродвигуні $Q_{вит2}$ вище припустимих, витрата рідини через гідродвигун Q_2 при тій же частоті обертання *n* вихідного вала буде перевищувати витрату рідини за ТУ та вихід блока W_2^Q набере значення “0”. Відповідно витрата рідини через золотниковий кран Q_1 перевищуватиме витрату рідини за ТУ, та вихід блока W_2^Q також набуває значення “0”. Збільшення витрати рідини через золотниковий кран при тому же його гідравлічному опіру збільшить перепад тиску Δp_1 на агрегаті та приведе до зниження тиску перед гідродвигуном , а саме, виходи блоків $W_1^{\Delta p}$ та W_1^p наберуть значення “0”. Зниження тиску перед гідродвигуном приведе до зниження обертового моменту М на його вихідному валу, зниженню частоти обертання *n* гідродвигуна при тому ж навантаженні та зменшенню швидкості $v(t)$ підйому платформи. Таким чином, значення блоків

W_2^M, W_2^n та W_3^y також стануть рівними нулю. Поява значень “0” на виході блоків логічної схеми системи, що розглядається, буде вказувати на наявність у ній несправності.

Заглиблений аналіз взаємозв’язків між вхідними та вихідними параметрами окремих агрегатів, що входять у структуру складних систем гідравлічних приводів машин, та технічним станом цих агрегатів показує, що на практиці в ряді випадків мають місце порушення виконання умов правильності роботи окремих агрегатів як блоків логічної схеми, а саме, порушення умов алгебри-логіки. Так, наявність широкого діапазону можливих змінень тиску та витрати робочої рідини в ряді систем гідравлічних приводів залежно від режиму їх роботи приводить до появи на окремих режимах “логічно незначних” зв’язків між параметрами окремих агрегатів та функціональними параметрами гідроприводу, коли вихід значень параметрів окремих агрегатів на визначене значення за межі вимог ТУ не приводить до виходу значень функціональних параметрів гідроприводу в цілому також за межі вимог ТУ. Слід відзначити, що не завжди для досліджуваної системи гідроприводу будуть визначені порогові значення сукупних виходів логічних блоків, що входять до логічної моделі системи. Відмічені специфічні особливості роботи складних систем гідроприводів сучасних машин значно ускладнюють застосування для них в “чистому” вигляді логічних схем як діагностичних моделей.

1.3. Побудова графів причинно-наслідкових зв’язків

Ускладнення, що виникають при застосуванні логічних схем для діагностування гідроприводів машин, можуть бути усунені при використанні графів причинно-наслідкових зв’язків. Їх доцільно застосовувати у тих випадках, коли об’єкт діагностування не має явно виражених функціональних блоків (наприклад, автономні керуючі приводи літальних апаратів), коли відсутні точні аналітичні або експериментальні залежності між параметрами об’єкта та визначено лише те, що один параметр якимось чином залежить від іншого.

Графом причинно-наслідкових зв’язків системи гідроприводу будемо називати орієнтований граф, вершини якого являють собою вхідні, внутрішні та вихідні параметри системи, а дуги відображають причинно-

наслідкові зв'язки між відповідними вершинами. Напрямок дуги відповідає переміщенню від причини до слідства.

Як приклад, на рис. 1.4 наведено граф причинно-наслідкових зв'язків функціональної ділянки гідропідйомника відносно схеми, наведеної на рис. 1.3, *а*.

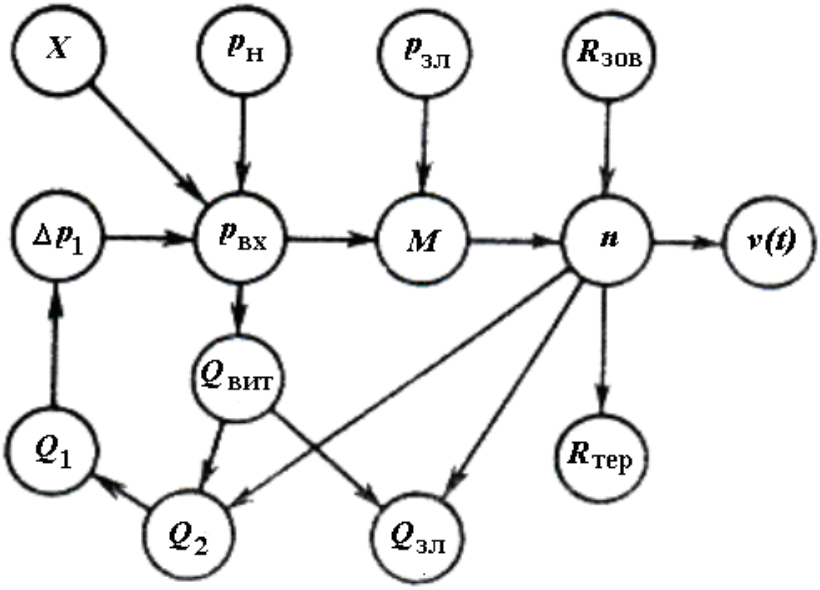


Рисунок 1.4 – Граф причинно-наслідкових зв'язків функціональної ділянки гідроприводу підйомника при наявності внутрішніх витрат у гідромоторі

Для того щоб по графу причинно-наслідкових зв'язків можна було виконати формальне заключення відносно технічного стану об'єкта діагностування, повинні бути справедливі основні передумови, які приймаються при побудові логічних моделей. За цих умов в багатьох випадках від графа причинно-наслідкових зв'язків системи можна перейти до логічної моделі та навпаки. При побудові графа причинно-наслідкових зв'язків його вершинам можна зіставити не тільки внутрішні та зовнішні параметри гідроприводу, але й події, що визначаються логічними висловленнями типу "значення параметру вийшло за межі ТУ".

У висновок зауважимо, що при побудові графа причинно-наслідкових зв'язків системи гідроприводу можливо уявляти не всі вхідні, внутрішні та вихідні параметри системи (або події, що відображають гранично припустимі значення цих параметрів), а тільки ті з них, які доступні для змінення та можуть бути використані як діагностичні.

Запитання для самоконтролю

1. Основні особливості побудови структурно-функціональних схем.
2. Що таке структурно-функціональна схема гідроприводу з розщепленими параметрами?
3. Що відносять до розщеплених параметрів?
4. Що таке логічна модель?
5. Послідовність складання логічної моделі гідроприводу.
6. Що таке графи причинно-наслідкових зв'язків?
7. Як будуються графи причинно-наслідкових зв'язків?

Завдання

1. Скласти структурно-функціональну схему гідроприводу згідно з отриманою від викладача гідросхемою, наведеною в додатку 1;
2. Побудувати логічну модель системи гідравлічного приводу;
3. Скласти граф причинно-наслідкових зв'язків системи гідроприводу;
4. Зробити висновок щодо доцільності використання структурних моделей діагностування гідроприводу.

ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 2

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА ДІАГНОСТУВАННЯ ГІДРОПРИВОДІВ МАШИН

Мета заняття. Розробити режим технічного обслуговування та діагностування гідроприводу машини.

2.1. Загальні методичні положення

Впровадження прогресивних методів діагностування гідравлічних приводів машин при експлуатації пов'язано з вирішенням питань оптимізації режимів їх технічного обслуговування та ремонту. Важливою умовою ефективної експлуатації гідроприводу є скорочення сумарних витрат на утримання у справному стані при забезпеченні постійної продуктивності машини. Можлива і інша постановка задачі: підвищення продуктивності

машини та збереження при цьому потрібного рівня витрат на ремонт та обслуговування гідроприводу. В обох випадках враховуються технічні та економічні показники гідроприводу. Оптимізація цих показників є важливим резервом підвищення ефективності процесу технічного обслуговування та дозволяє організувати оптимальне керування надійністю гідроприводу на стадії експлуатації.

Метою оптимального керування є збільшення ресурсу елементів гідроприводу завдяки мінімізації швидкості зносу при регламентованих витратах на усунення відмов. Вибір оптимального керування обслуговуванням може бути зроблено на основі узагальненого досвіду експлуатації гідроприводів або за результатами спеціальних експериментальних випробувань, але цей шлях потребує додаткових витрат. Тому у сучасній практиці частіше використовують аналітичні методи, що базуються на математичному моделюванні процесу технічного обслуговування. При цьому у багатьох випадках не потрібно створення повної моделі процесу технічного обслуговування, в якій враховувались би зміни фізичного стану елементів гідроприводу при експлуатації та економічні показники, а можуть бути використані спрощені моделі, призначені для вирішення конкретних практичних задач. До таких задач відноситься визначення оптимальних значень граничних параметрів зносу елементів гідроприводу, виходячи з заданих часу напрацювання та продуктивності гідроприводу при експлуатації. Завищені граничні значення зносу пар тертя зумовлюють збільшення строку служби (ресурсу) гідроприводу, але при цьому відбувається зниження продуктивності машини внаслідок збільшення витоків рідини через зазори у парах тертя. Заниження граничних значень зносу пар тертя призводить до скорочення ресурсів ГА, однак забезпечує високу продуктивність машини протягом усього періоду експлуатації.

Необхідність оптимізації потрібна не тільки при розрахунку граничних значень параметрів зносу, але й при визначенні оптимальних режимів процесу технічного обслуговування. Наприклад, швидкість зносу поверхонь тертя можна знизити завдяки збільшенню частоти обслуговування елементів гідроприводу, що пов’язано з додатковими витратами коштів, матеріалів та ін. При цьому збільшується ресурс гідроприводу та знижу-

ються витрати на придбання запасних ГА або окремих вузлів гідроприводу.

Роботи з технічного обслуговування гідравлічних приводів машин поділяють на планові (регламентні) та позапланові.

За допомогою планових робіт забезпечується регулярне обслуговування гідравлічних приводів машин у процесі їх нормальної експлуатації, у тому числі виконання робіт зі змащування, заправки робочою рідиною, очищення фільтроелементів, регулювання, перевірки правильності функціонування та ін. Для агрегатів, що експлуатуються за ресурсом, у число планових робіт включаються роботи із заміни агрегатів після відпрацювання встановлених ресурсів. Для агрегатів, технічне обслуговування та ремонт яких здійснюється за станом з контролем параметрів, в планові обов'язково додаються роботи з діагностування для своєчасного визначення передвідмовних станів агрегатів та прогнозування зміни їх технічного стану при експлуатації.

Позапланові роботи, що виконуються при технічному обслуговуванні систем гідроприводів, пов'язані з відновленням працездатності системи при виникненні відмов окремих агрегатів та елементів. До цих робіт відносять пошук агрегату, що відмовив, та встановлення причини відмови, заміна його та подальша перевірка правильності функціонування системи.

2.2. Моделювання процесів відновлення елементів гідроприводу

Для вирішення питань оптимізації режимів технічного обслуговування та контролю системи гідравлічних приводів широко використовуються різні методи математичного моделювання процесів експлуатації машин, їх технічного обслуговування та ремонту. Моделювання процесів технічного обслуговування та ремонту включає також моделювання процесів відновлення елементів гідравлічного обладнання машини.

Сьогодні застосовують різні методи моделювання процесів відновлення, найбільше поширення одержали методи статистичного моделювання. У цьому випадку процес відновлення будь-якого елемента гідроприводу описується параметром потоку відновлення $\omega_{\text{В}}(t)$та функцією потоку відновлення $\Omega_{\text{В}}(t)$ [1]. При нормальному функціонуванні системи техніч-

ного обслуговування спостерігається рівність функцій потоку відмов та потоку відновлення.

Параметр потоку відновлення

$$\omega_{\text{в}}(t) = \sum_{m=1}^{\infty} b_{k_m}(t), \tag{2.1}$$

де $b_{k_m}(t)$ – щільність розподілення ресурсів конструктивних елементів гідроприводу ; m – кількість змін.

Функція потоку відновлення:

$$\Omega_{\text{в}}(t) = \sum_{m=1}^{\infty} F_{k_m}(t), \tag{2.2}$$

де $F_{k_m}(t)$ – функція композиції розподілення ресурсів конструктивних елементів гідроприводу до замін; m – кількість змін.

Процес відновлення пов'язаний із заміною зношеної деталі гідроприводу на запасну; при цьому приймається, що ресурс запасної деталі менший за ресурс основної внаслідок її встановлення у зношений ГА. При загальному процесі відновлення композицію розподілення ресурсів визначають підсумовуванням ресурсів основної деталі з щільністю розподілення $f_1(t)$ та запасної – зі щільністю $f_{\text{з.ч}}(t)$ [1]. Приймаємо, що запасні деталі встановлюються у гідропривід послідовно, тоді $f_{\text{з.ч}}(t) = b(t) = ... = f_m(t)$, а середні значення та дисперсії композиції розподілення ресурсів елементів гідроприводу для будь-якого закону розподілення (нормального, експоненціального та ін.) визначаються підсумовуванням:

$$t_{\text{к.сер}} = t_{\text{к.сер}_{m-1}} + t_{\text{з.ч.сер}}, \tag{2.3}$$

$$\sigma^2 = \sigma_{k_{m-1}} + \sigma^2_{\text{з.ч}}. \tag{2.4}$$

Щільність композицій розподілення ресурсів визначається через інтеграл згортки послідовно для m замін:

$$f_{k_m}(t) = \int_0^{\infty} f_{\text{з.ч}}\left(t - t_{k_{m\text{-}1}}\right) f_{k_{m\text{-}1}}(t)dt. \tag{2.5}$$

При нормальних розподіленнях ресурсів основного елемента та запасної частини щільність розподілення напрацювання до заміни $m+1$ деталей у випадку загального відновлення визначається формулою

$$f_{k_m}(t)=\frac{1}{\sqrt{2\pi\left(\sigma_1^2+m\cdot\sigma_{з.ч}^2\right)}}\cdot e^{-\frac{\left(t-t_1-m\cdot t_{з.д}\right)^2}{2\left(\sigma_1^2+m\cdot\sigma_{з.ч}^2\right)}}, \qquad (2.6)$$

де t_1 – ресурс основної деталі; σ_1 – дисперсія композиції розподілення ресурсу основної деталі; $t_{з.ч}$, $\sigma_{з.ч}$ – відповідно ресурс та дисперсія композиції розподілення ресурсу запасної деталі (частини).

При невизначених законах розподілення ресурсів основного та запасного гідроприводів щільність композиції розподілення визначають наближеним інтегруванням інтегралу згортки:

$$f_{k_m}(t)\approx\sum_0^\infty f_{з.ч}(t_1-t_m)f_{m-1}(t)\Delta t=\sum_0^\infty \Delta F_{k_{m-1}}(t)f_{з.ч}. \qquad (2.7)$$

Вираз (2.7) добре узгоджується з процесом відновлення: на інтервалі напрацювання Δt відбуваються перші відмови елементів $\Delta F_{k_{m-1}}(t)=f_{k_{m-1}}(t)\Delta t$; елементи заміняють запасними деталями, відмови яких розподілені на подальшому напрацюванні $(t-t_m)$ відповідно до щільності розподілення ресурсу запасної частини $f_{з.ч}(t-t_m)$. Таким чином, в експлуатації знаходяться декілька груп запасних деталей, введених у роботу в різний час відповідно до функції $\Delta F_m(t)$. Імовірність декількох замін деталей дорівнює сумі імовірностей наявності замін в усіх $\Delta F_m(t)$ групах деталей.

Моделювання процесу відновлення гідроприводу пов’язано з процесом старіння (віком) машини. Це потребує урахування нестаціонарності характеру процесу відновлення деталей, що вийшли з ладу. В цьому випадку функція потоку ремонтів з урахуванням ймовірностей безвідмовної роботи гідроприводу $P_г(t)$ до граничного стану

$$\Omega_р(t_р)=\int\omega\cdot t\cdot P_г(t)dt. \qquad (2.8)$$

Визначені згідно з виразами (2.1), (2.2) та (2.8) залежності $\omega_{\text{в}}(t), \Omega_{\text{в}}(\text{t})$ та $\Omega_{\text{р}}(t_{\text{р}})$ використовуються у подальшому для оптимізації періодичності технічного обслуговування та контролю гідроприводів машин при експлуатації.

2.3. Визначення оптимальної періодичності технічного обслуговування та діагностування гідравлічних приводів

При визначенні оптимальної періодичності обслуговування гідравлічних приводів машин можуть використовуватися різні критерії [2], [3]. Для ГА, відмови яких не пов'язані з небезпекою для людей, доцільно використовувати економічні критерії. Оптимальна періодичність технічного обслуговування для окремих агрегатів $t_{\text{опт}}$ у цьому випадку може бути визначена з умови досягнення максимального значення співвідношення:

$$\Pi = \left\{ \frac{P^*(t)}{W_{\text{т.о}}} \right\}, \tag{2.9}$$

де $P^*(t)$ – необхідний рівень надійності роботи агрегату між технічними обслуговуваннями; $W_{\text{т.о}}$ – витрати на технічне обслуговування, що включають витрати на планові профілактичні роботи $W_{\text{пл}}$ та витрати на усунення відмов $W_{\text{від}}$.

Оптимальну періодичність виконання робіт з технічного обслуговування можна визначити за рис. 2.1.

У ряді випадків максимальне значення величини Π може визначатися при деяких обмеженнях, наприклад, при забезпеченні мінімальної трудомісткості технічного обслуговування при заданому рівні надійності або максимальній надійності – при заданому рівні трудомісткості.

У тих випадках, коли відмові системи гідроприводу (ГА) передує період розвитку несправності (наприклад, зниження тиску в системі внаслідок внутрішньої негерметичності), для визначення оптимальної періодичності робіт з технічного обслуговування може бути використаний наступний метод [4]. Як критерій, в цьому випадку застосовується максимум імовірності безвідмовної роботи за час $t_{\text{р.н}}$ розвитку несправності, яка ще не

призводить до невідповідності функціонального параметру системи межам технічних умов.

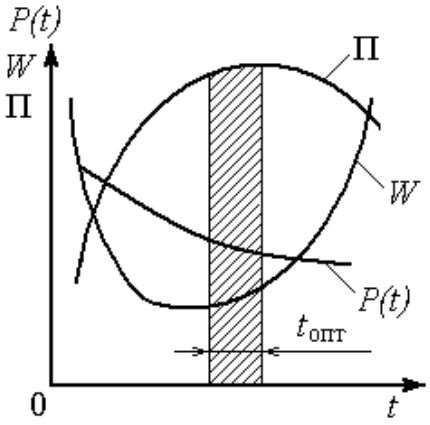


Рисунок 2.1 – Залежність параметрів $P(t)$, W та П від напрацювання

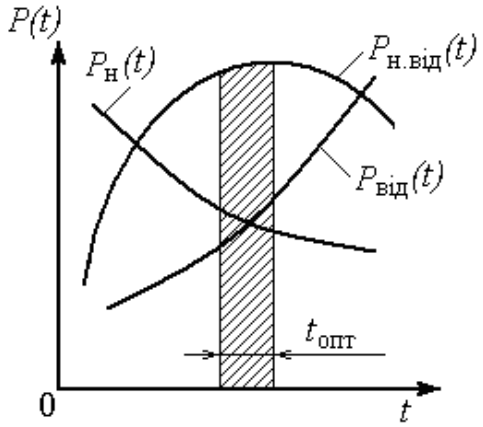


Рисунок 2.2 – Схема для визначення періодичності проведення технічного обслуговування

При експоненціальному розподіленні потоку відмов у системі гідроприводу оптимальна періодичність робіт по технічному обслуговуванню може бути визначена як

$$t_{\text{опт}} = \frac{\ln\lambda_1 - \ln\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2}, \tag{2.10}$$

де λ_1 – інтенсивність виникнення несправностей; λ_2 – інтенсивність відмов.

Слід відмітити, що вираз (2.10) може бути використано для визначення $t_{\text{опт}}$ та при наявності інших законів розподілення відмов у системі гідроприводу. Похибки при знаходженні значення $t_{\text{опт}}$ у таких випадках не перевищують 10…15 %.

На практиці оптимальне значення періодичності проведення робіт по технічному обслуговуванню та контролю систем гідравлічних приводів машин зазвичай знаходять шляхом побудови залежностей імовірностей виникнення несправностей в системі $P_{\text{н}}(t)$, ймовірностей виникнення відмови $P_{\text{від}}(t)$ та ймовірностей безвідмовної роботи системи при наявності несправностей $P_{\text{н.від}}(t)$ від часу t (рис. 2.2).

Отримані розрахункові значення оптимальної періодичності робіт по технічному обслуговуванню і контролю системи гідроприводу та його окремих агрегатів слід розглядати як бажані, що необхідно враховувати при визначенні періодичності технічного обслуговування машини в цілому, оскільки роботи по обслуговуванню системи гідроприводу повинні бути пов'язані з визначеним видом технічного обслуговування машини.

Знаходження оптимальних параметрів процесу технічного обслуговування, як і будь-яка задача оптимізації, складається з трьох етапів: *визначення виду цільовий функції, виду параметрів, що варіюються та складання методики оптимізації.* Як цільова функція або критерій оптимізації рекомендується приймати коефіцієнт сумарної питомої вартості $C_{\text{сум}}$ [1]. Однак цей показник визначається трьома іншими: вартістю усунення відмови $C_{\text{від}}$, що зумовлюється використанням ресурсу $t_{\text{р}}$; вартістю виконання технічного обслуговування $C_{\text{обс}}$ з періодичністю $t_{\text{обс}}$, а також вартістю компенсації середніх питомих втрат $C_{\text{к}}$, виникаючих внаслідок зносу деталей. Тому більш правильною буде методика оптимізації, що враховує три критерії. У більшості випадків необхідно залежно від обмежуючих умов або ранжирувати ці три критерії, або складати який-небудь узагальнений критерій. При цьому рекомендується використовувати методи багатокритеріальної оптимізації.

При розгляданні оптимізації технічного обслуговування гідроприводів машин головною задачею є вибір параметрів, що підлягають оптимізації. В багатьох випадках такими параметрами є ресурс ГА та швидкість зносу його елементів.

Збільшення ресурсів ГА приводить до скорочення числа ремонтів за строк експлуатації, а отже, й до зменшення використання запасних частин. Збільшення ресурсів агрегатів можна досягти шляхом збільшення гранично допустимого зносу та зниження середньої швидкості зносу. Однак підвищення граничного значення зносу приводить до збільшення витоків через зазори між сполученими поверхнями, а отже, – до зниження продуктивності машини. З другого боку, зниження швидкості зносу може бути забезпечено при збільшенні частоти проведення технічних обслуговувань, що веде до відповідного збільшення затрат.

Важливим питанням у проблемі оптимізації є вибір методу оптимізації. Якщо процес технічного обслуговування може бути змодельованим системою диференціальних або алгебраїчних рівнянь, що розв'язуються відносно параметрів оптимізації (ресурсу $t_р$ та швидкості зносу u), то до цієї системи n рівнянь додають ще рівняння цілевих функцій. Сумісне рішення цієї системи з урахуванням обмежень, зумовлених особливостями процесу зносу, а також економічними міркуваннями, дає можливість отримати рішення, оптимальні для заданих умов. Для зменшення трудомісткості розрахунків бажано заздалегідь визначити межі змінення параметрів, що варіюються. Їх можна визначити шляхом проведення попередніх експериментальних випробувань або апріорним шляхом. Зменшивши діапазон пошуку оптимальних параметрів, можна скоротити трудомісткість вирішення задачі оптимізації.

Розглянемо декілька методів рішення задачі вибору оптимальних параметрів процесу технічного обслуговування гідроприводів машин.

Метод головного критерію [5]. Використання цього методу передбачає виділення середовища групи частинних критеріїв $C_{від}$, $C_{обс}$, $C_к$ основного (головного) критерію, наприклад $C_{від}$. Тоді за критерієм $C_{від}$ виконується пошук оптимальних параметрів, а на останні накладається обмеження у вигляді нестрогих ймовірностей: $C_{обс} \le C^*_{обс}$; $C_к \le C^*_к$ (тут $C^*_{обс}$ та $C^*_к$ – нормовані значення $C_{обс}$ та $C_к$).

Недоліком цього методу оптимізації є те, що в ряді випадків мінімальне значення $C_{від}$ може бути опущено внаслідок того, що обмеження на другорядні критерії $C_{обс}$ та $C_к$ можуть набути домінуючого значення.

Метод узагальненого критерію [5]. У цьому випадку використовується не один критерій, а згортка окремих критеріїв. Метод передбачає використання одного критерію замість декількох. Позначимо його через $C_{сум}$. Тоді $C_{сум} = \alpha_1 C_{від} + \alpha_2 C_{обс} + \alpha_3 C_к$ (тут $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – коефіцієнти, що визначають ступінь кожного критерію в основній сумі). Основну складність у використанні такого методу становить визначення значень цих коефіцієнтів.

У ряді випадків використовують наступний прийом. Приймаючи $\sum \alpha_i = 1$ та задаючись приблизним співвідношенням, отримують критеріальну згортку. Значення α_i вибирають залежно від важливості відповідного критерію. Якщо при плануванні строків проведення технічного обслуговування гідроприводів відомі співвідношення між величинами $C_{\text{від}}$, $C_{\text{обс}}$ та $C_{\text{к}}$, то, відобразивши їх у вигляді пропорцій, легко отримати значення коефіцієнтів.

Лексиграфічна постановка задачі оптимізації. Перераховані способи усунення невизначеностей при пошуку параметрів оптимізації не дають точної та визначеної інформації, але можуть бути використані при вирішенні приватних задач. Більш досконалим є лексиграфічна постановка задачі оптимізації.

При використанні цього методу на першому етапі відбувається строге ранжирування критеріїв, а саме виділяється головний та другорядний критерії. На другому етапі вирішується задача мінімізації цілевої функції з урахуванням того, що є область оптимальних параметрів (якщо рішення задачі не єдине). Потім на третьому етапі, на безлічі оптимальних параметрів, вибраних по першому критерію, визначається область оптимальних параметрів, що відповідають другому критерію. Число наступних етапів відповідає числу приватних критеріїв.

Застосовано до процесу технічного обслуговування гідроприводів лексиграфічна задача оптимізації може бути сформульована наступним чином. Визначається область оптимальних параметрів для критерію $C_{\text{від}}$, з якої виділяється область параметрів, що відповідають мінімальному значенню другорядного критерію $C_{\text{обс}}$. При цьому дотримується умова $C_{\text{від}_2} \le C_{\text{від}_1}$ (тут $C_{\text{від}_1}$ та $C_{\text{від}_2}$ – значення основного критерію, отримані в результаті оптимізації відповідно на першому та другому етапах пошуку оптимальних параметрів). Після звуження області пошуку знову вирішує задача оптимізації, але з урахуванням критерію $C_{\text{к}}$, що залишився. На третьому етапі оптимізується система за критерієм $C_{\text{к}}$; при цьому на задачу оптимізації накладаються наступні обмеження: $C_{\text{від}_{i+1}} \le C_{\text{від}_i}$; $C_{\text{обс}_{i+1}} \le C_{\text{обс}_i}$ (значення критеріїв з індексами i та $i+1$ відповідають ре-

зультатам оптимізації, отриманим на даному та попередньому етапах оптимізації).

На заключному етапі виходить єдине рішення або безліч оптимальних рішень для розглядуваних параметрів (ресурсів ГА та швидкості зносу). При наявності безлічі рішень можна продовжити пошук оптимальних параметрів, але для цього необхідно ввести нові приватні критерії.

Оптимізація параметрів технічного обслуговування гідроприводів в умовах компенсації приватних критеріїв. У попередніх випадках розглядалась задача оптимізації процесу технічного обслуговування без компенсації зменшення ряду приватних критеріїв. Однак можлива постановка задачі, коли припускається деяке зменшення значень приватних критеріїв за умови їх компенсації в результаті збільшення значення інших. Якщо така компенсація не зменшує ефективності усього процесу, то вона цілком припустима. При використанні цього методу величина припустимої компенсації оцінюється коефіцієнтом заміщення β.

Припустиме зменшення визначається добутком $\beta \cdot \Delta$ (тут Δ – відносне значення зменшення одного критерію відносно іншого). Наприклад, два будь-яких приватних критеріїв пов'язані співвідношенням

$$\beta = \frac{dJ_i}{dJ_j}, \tag{2.11}$$

де J_i та J_j – приватні критерії (в даному випадку $C_{\text{від}}$, $C_{\text{обс}}$ або $C_{\text{к}}$).

Наступним важливим етапом при застосуванні цього методу оптимізації є складання рівняння зв'язку.

Розглянемо як приклад визначення значення β при наявності наступного рівняння зв'язку між критеріями $C_{\text{від}}$ та $C_{\text{обс}}$:

$$F\left(C_{\text{від}}, C_{\text{обс}}\right) = \text{const}. \tag{2.12}$$

Продиференціювавши вираз (2.12), отримаємо:

$$\frac{\partial F\left(C_{\text{від}}, C_{\text{обс}}\right)}{\partial C_{\text{від}}} dC_{\text{від}} + \frac{\partial F\left(C_{\text{від}}, C_{\text{обс}}\right)}{\partial C_{\text{обс}}} dC_{\text{обс}} = 0. \tag{2.13}$$

Звідси отримаємо:

$$\beta = \frac{\partial F\left(C_{\text{від}}, C_{\text{обс}}\right) / \partial C_{\text{обс}}}{\partial F\left(C_{\text{від}}, C_{\text{обс}}\right) / \partial C_{\text{від}}}. \qquad (2.14)$$

Поданий метод також заснований на визначенні виду узагальненого критерію $F\left(C_{\text{від}}, C_{\text{обс}}, C_{\text{к}}\right)$ та коефіцієнтів, що враховують частину кожного критерію.

2.4. Вибір сучасного методу оптимізації

Сучасні ГА являють собою достатньо складний пристрій, при проектуванні яких необхідно виконати низку суперечливих вимог. А саме, спроектувати ГА з бажаними статичними та динамічними характеристиками, з високим ККД та малими малогабаритними показниками, при стандартних приєднуваних розмірах.

Таким чином, при проектуванні ГА необхідно розв'язати багатокритеріальну задачу:

$$\Phi(X) = \left[\Phi_1(X), ..., \Phi_h(X)\right] \to \max, \quad X \in D$$
$$D : h_j(X) \geq 0, (j = 1, ..., m), \qquad (2.15)$$

де X – шукане рішення (вектор шуканих параметрів ГА); $\Phi_i(X)(i = 1, ..., k)$ – критерії якості розв'язків (рішень) X; $h_j(X)(j = 1, ..., m)$ – обмеження, які встановлюють допустиму область D можливих змін рішень X.

Рішення $X_{i\,\max} = \text{arqmax}\ \Phi(X), X \in G$ є локальним оптимумом по i-му критерію, без врахування інших. Рішення $X^0 \in G$ є ефективним (парето-оптимальним [6]), якщо не існує рішення $X \in G$, для якого $\Phi_i(X) \geq \Phi_i(X^0),\ i = 1, ..., m$, та жоден критерій не кращій, ніж при $X = X^0$. Сукупність усіх можливих ефективних рішень утворює множину Парето (область компромісів) P, яка є формальним розв'язком (2.15) [7]. Зауважимо, що область P визначається тільки вихідними даними ГА.

Розгляду методів багатокритеріальної оптимізації присвячена значна кількість наукових робот [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]. Так, в [8] розглянуті задачі лінійного програмування з багатьма критеріями якості. В даній роботі обговорюються способи зменшення кількості діалогів "дослідник – особа, яка приймає рішення (ОПР)".Однак в [8] не враховується, що ОПР може в міру знайомства з областю допустимих рішень дати нову інформацію, як

про ваги критеріїв, якщо вони не були відомі раніше, так і про їх уточнені значення. В[10] розглянуто метод оптимізації, в основі якого лежить діалог ОПР – ЕОМ. При адитивному підході розв'язок задачі оптимізації базується на послідовному уточнені кращого розв'язку X^{01}(на думку ОПР) шляхом переходу от однієї альтернативи $X_L^0 \in D$ до $X_{L+1}^0 \in D$ наступної, з врахуванням інформації I_L, від ОПР. В цьому процесі відбуваються паралельно два види адаптації, ЕОМ – до розв'язків, яким ОПР відає перевагу, та ОПР – до розв'язуваної задачі. Одним із недоліків цього методу, який обмежує область його використання, є можливість виникнення, в процесі діалогу ОПР – ЕОМ, складних питань.

Порівняльний аналіз великої кількості методів оптимізації, які містять діалогові процедури ОПР – ЕОМ, наведені в [9]. На наш погляд, наведений аналіз є досить докладним, та найбільш повним. Він дозволяє, залежно від складності задачі, що розв'язується, провести вибір найбільш ефективного методу оптимізації. Для чого пропонується використовувати наступні критерії:

- зручність використання діалогу між ОПР та ЕОМ;
- легкість опанування логікою методу;
- довіра ОПР до кінцевого розв'язку, як до найкращого;
- швидкість сходження процесу (кількість необхідних ітерацій);
- час розрахунку;
- корисність для ОПР інформації, яка отримана в процесі розв'язку задачі.

Методи оптимізації, розглянуті в [9], базуються на використанні чотирьох основних процедур організації діалогу між ОПР та ЕОМ:

- процедури, які використовують повідомлення ОПР о значення ваги критеріїв. Ці процедури названі в [9] параметричними методами. Вони найбільш прості з адаптивних діалогових (між ОПР та ЕОМ) методів багатокритеріальної оптимізації. Однак при нелінійних функціях критеріїв у ОПР виникають труднощі у визначені ваги критеріїв, що дещо знижує цінність цих методів;
- процедури, які використовують повідомлення ОПР про порівняну важливість критеріїв. Вони використовуються в адаптивних сіткових ме-

тодах [12], які знайшли широке застосування в вирішенні задач багатокритеріальної оптимізації ГА, та їх елементів, наприклад в [11, 13];

- процедури з використанням комбінованих форм подання додаткової інформації.

В [7] усі задачі багатокритеріальної оптимізації поділені на три класи. При розв'язку задач першого класу на кожному кроці діалогу ОПР повідомляє порівняльні значення критеріїв, тобто зазначає свої вагові уявлення про важливість критеріїв. При цьому шукається розв'язок, при якому функціонал, отриманий агрегатуванням багатьох критеріїв в один, мінімізується. Адаптивність процедури полягає в швидкому отриманні розв'язку на попередніх кроках діалогу. Як відмічено в [12], процедури цього класу задач найбільш прості. Однак при нелінійних функціях критеріїв у ОПР виникають труднощі при визначені та корегуванні ваг критеріїв. Крім цього, одним з суттєвих недоліків розв'язку задач даного класу є припущення, що якість розв'язку можна оцінювати за допомогою одного критерію [14].

При розв'язку задач другого класу ОПР встановлює деякі рівні критеріїв. Наприклад, якщо значення цільових критеріїв γ_i (i-1,…,K), розв'язується задача [9] ОПР; змінюючи значення цілі, здійснює цілеспрямований пошук найкращого розв'язку, одночасно отримуючи інформацію про значення локально-оптимальних рішеннях.

$$\sum_{i=1}^{K}\left[\gamma_i - \Phi(X)\right]^2 \to \min,\ X \in D. \qquad (2.16)$$

Замість (2.16) можуть бути використані й інші алгоритми, докладний опис яких наведено в [7]. При цьому вони всі передбачають діалог ОПР з ЕОМ, в ході якого ОПР може уточнити алгоритм, додавши обмеження, здійснити їх коректування або перевести критерії в обмеження з одночасним уточненням їх граничних значень. До цього класу належить і метод послідовних поступок [12].

Третій клас задач становить комбінація задач першого та другого класу.

На підставі проведеного порівняльного аналізу методів багатокритеріальної оптимізації для ГА із ГВК нами обрано метод дослідження пара-

метрів простору (ДПП), характерною особливістю якого є систематичний перегляд багатомірних областей, де як пробні точки використовуються точки рівномірно розподілених послідовностей ($ЛП_\tau$-послідовностей) [12].

Метод дослідження параметрів простору. Вихідними даними для багатокритеріальної оптимізації ГА із ГВК є його математична модель, яка у загальному випадку залежить від *n* параметрів $\alpha_1,...,\alpha_n$. ОПР задає параметричні обмеження (границі зміни кожного з параметрів)

$$\alpha_j^* \le \alpha_j \le \alpha_j^{**} \ (j=1,2,..,n), \tag{2.17}$$

які виділяють в просторі параметрів *D*, паралелепіпед *n*-мірного об'єму (далі нас будуть цікавити точки *A,* які належать *D*).

Задаємо функціональні обмеження:

$$c_i^* \le f_i(A) \ge c_i^{**}, \tag{2.18}$$

де $f_i(A)$ – деякі функції от параметрів $A=(\alpha_1,...,\alpha_n)$, які не мають розривів в *D*.

Далі вводимо обмеження критеріїв якості, вважаючи, що вони змінюються монотонно:

$$\Phi_\nu(A) \le \Phi_\nu^{**} \ (\nu = 1,2,..k), \tag{2.19}$$

де Φ_ν^{**} – найгірше значення критерію якості $\Phi_\nu(A)$, яке ОПР вважає задовільним.

Дослідження ГА із ГВК здійснюємо в три етапи. На *першому* етапі ЕОМ, без втручання ОПР, складає таблиці. Послідовно вибираються *N* пробних точок $A_1,...,A_N$, рівномірно розташованих в області *G* (область в *D*, яка складається з точок *A*, які задовольняють обмеження (2.18)). В кожній точці розраховується значення всіх критеріїв $\hat{\Phi}_1(\hat{A}_i),...,\hat{\Phi}_k(\hat{A}_N)$. По кожному з критеріїв складається таблиця досліджень згідно зі зростанням.

На *другому* етапі ОПР знайомиться з таблицею досліджень та призначає обмеження по кожному з критеріїв $\hat{\Phi}_\nu^{**}$, незалежно від інших.

Третій етап передбачає перевірку не пустоти області *D* (область в *G*, яка складається з точок *A*, що задовольняють обмеження (2.19)). Перебираючи значення усіх критеріїв в точках $A_{i1},...,A_{iS}$, перевіряють, чи є серед

точок така, в якій виконуються усі нерівності (2.19). Якщо така точка існує, то множина D не пуста, і задача розв'язана. В іншому випадку необхідно повернутися до другого етапу та зажадати від ОПР поступитися значенням $\hat{\Phi}_{\nu}^{**}$. Якщо поступитися значенням $\hat{\Phi}_{\nu}^{**}$ неможливо, то треба повернутися до першого етапу та збільшити кількість точок випробувань N.

Запитання для самоконтролю

1. Яка періодичність технічного обслуговування є оптимальною?
2. Чому у сучасній практиці частіше використовують аналітичні методи?
3. На які роботи поділяються по технічному обслуговуванню приводів машин?
4. Яка особливість методу дослідження параметрів простору?
5. Назвіть критерії порівняльного аналізу?

Завдання

За заданою викладачем гідравлічною схемою гідроприводу (дивись додаток 1):

1. Вибрати мету оптимізації його режиму технічного обслуговування та діагностування.
2. Скласти послідовність розв'язування задачі оптимізації.
3. Описати моделювання процесів відновлення елементів гідроприводу.
4. Дати визначення оптимальної періодичності технічного обслуговування (дивись додаток 2).
5. Яким критеріям повинен задовольняти сучасний метод оптимізації?
6. Опишіть метод оптимізації головного критерію.
7. Опишіть метод оптимізації за узагальненим критерієм.
8. Як визначити оптимальну періодичність виконання робіт по технічному обслуговуванню?

Додаток 1

Завдання для практичного заняття 1

1. Скласти структурно-функціональну схему гідравлічного приводу (рис. Д.1 – Д.4) згідно з методикою, що наведена в 1.1.

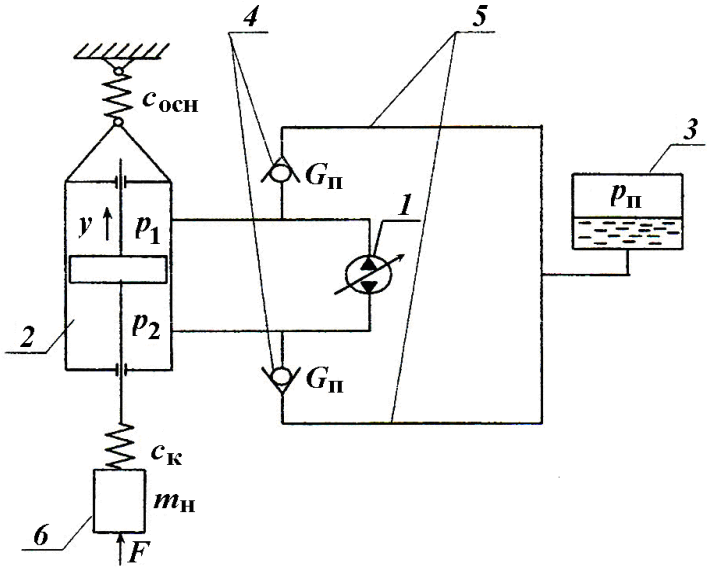


Рисунок Д.1 – Схема гідромеханічної частини автономного ГА:
1 – насос; *2* – гідроциліндр; *3* – гідробак; *4* – зворотні клапани; *5* – з'єднальні канали; *6* – інерційне навантаження

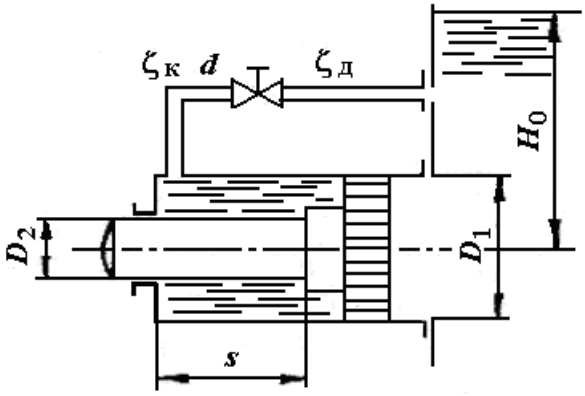


Рисунок Д.2 – Гідравлічне реле часу

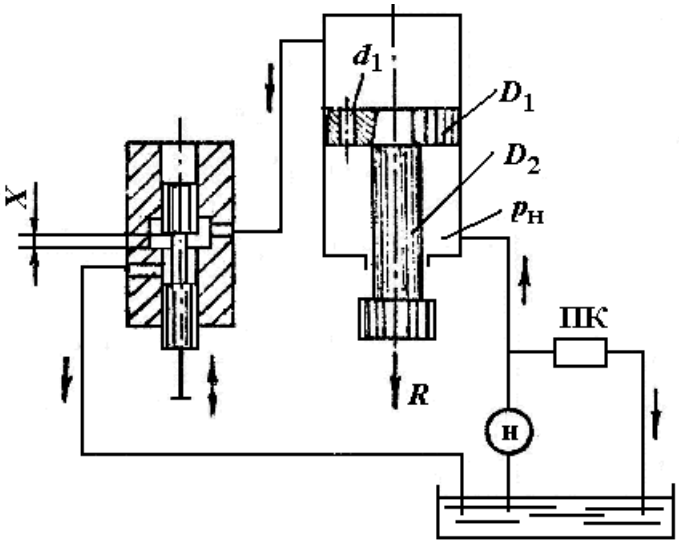


Рисунок Д.3 – Гідропідсилювач

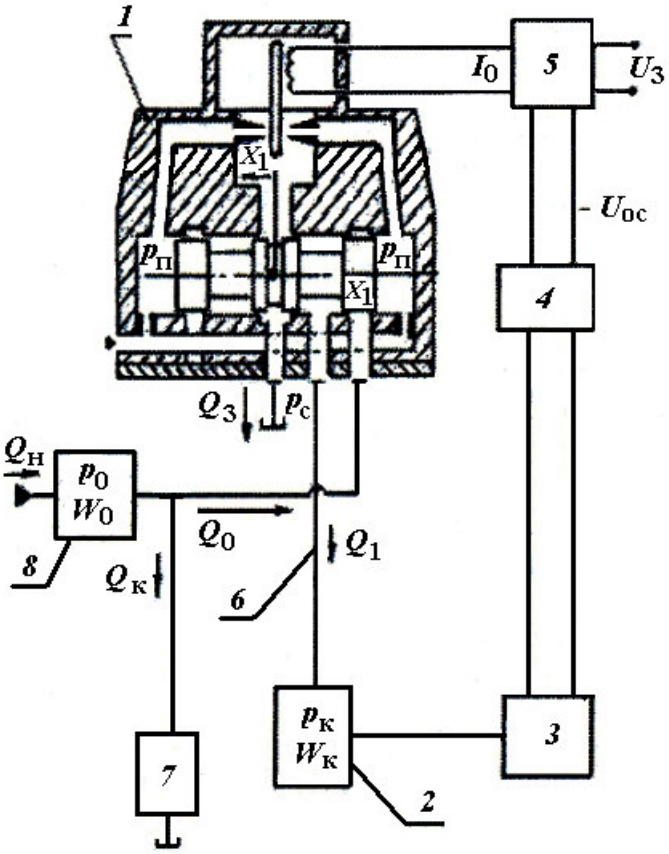


Рисунок Д.4 – Схема електрогідравлічного слідкуючого приводу

2. Побудувати логічну модель гідравлічного приводу (рис. Д.5–Д.7) згідно з методикою, що наведена в 1.2.

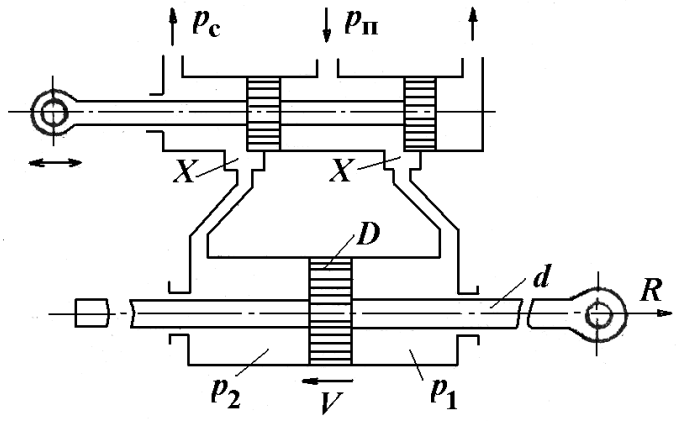


Рисунок Д.5 – Гідропідсилювач

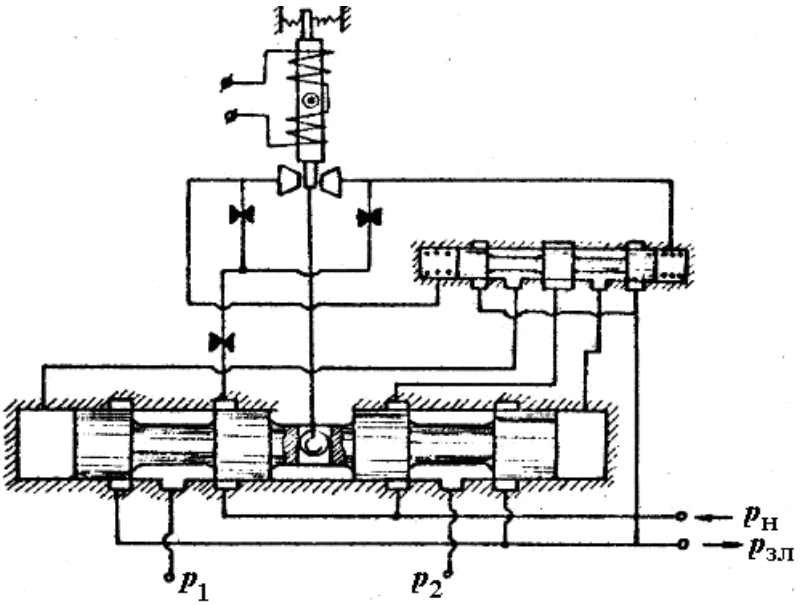


Рисунок Д.6 – Схема трикаскадного електрогідравлічного підсилювача потужності з механічним зворотним зв’язком

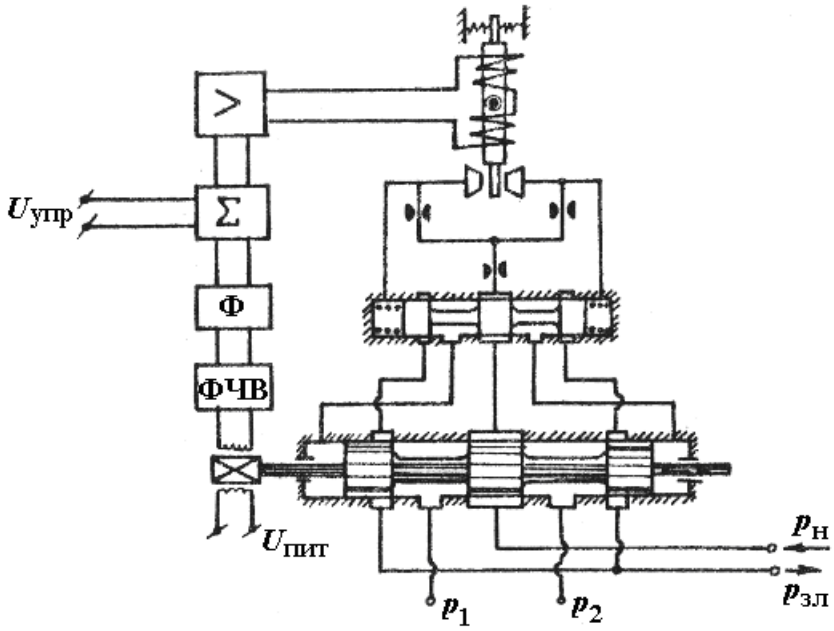


Рисунок Д.7 – Схема трикаскадного електрогідравлічного підсилювача потужності з електричним зворотним зв’язком

Додаток 2

Завдання до практичного заняття 2

Визначити оптимальну періодичність технічного обслуговування та діагностування гідроприводу згідно з завданням (табл.).

Таблиця – Завдання до практичного заняття 2

№ завдання	Необхідний рівень надійності $P^*(t)$	Інтенсивність виникнення несправностей $\lambda_1 \cdot 10^{-6}$, год	Інтенсивність відмов $\lambda_2 \cdot 10^{-6}$, год	k_1	k_2	Примітки
1	0,85	0,1	0,1	5	1	Зміна надійності відбувається згідно з нормальним законом роз-
2	0,86	0,5	0,5	6	2	
3	0,87	2	1	7	3	
4	0,88	1,5	1,5	8	4	
5	0,89	1	2	9	5	

6	0,9	3	4	10	6	поділення

Продовження табл.

№ завдання	Необхідний рівень надійності $P^*(t)$	Інтенсивність виникнення несправностей $\lambda_1 \cdot 10^{-6}$, год	Інтенсивність відмов $\lambda_2 \cdot 10^{-6}$, год	k_1	k_2	Примітки
7	0,91	2,5	3,2	11	7	Зміна надійності відбувається згідно з нормальним законом розподілення
8	0,92	4,5	5,5	12	8	
9	0,93	1,2	1,7	13	1	
10	0,94	2,7	2,5	14	2	
11	0,95	0,7	7	15	3	
12	0,87	3,5	6,5	5	4	
13	0,9	4	4,5	6	5	
14	0,92	2	1,4	7	6	
15	0,95	3,7	2,8	8	7	

Розрахункові залежності до завдання 2.

$$W_{\text{від}} = k_1 \cdot t_{\text{опт}} \cdot k_{\text{зп}},$$

де $W_{\text{від}}$ – витрати на усунення відмов; $k_{\text{зп}}$ – середня годинна платня робітникам.

$$W_{\text{пл}} = k_2 \cdot t_{\text{опт}} \cdot k_{\text{зп}},$$

де $W_{\text{пл}}$ – витрати на профілактичні роботи.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Башева А.А., Шейнин А.М. Оптимизация количества и периодичности технического обслуживания // Тр. МАДИ, 1978. – Вып. 152. – С. 97-98.

2. Гаврилов В.М. Методы многокритериальной оптимизации. – М.: Наука, 1982. – 72 с.

3. Методические указания. Техническая диагностика. Правила и критерии определения периодичности диагностирования технических систем. РД 50-565-85. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 28 с.

4. Самолет Ту-154. Конструкция и техническое обслуживание.– М.: Машиностроение, 1975. – 392 с.

5. Смирнов Н.Н. Техническое обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию // Воздушный транспорт. – Т. 11 (итоги науки и техники, ВИНИТИ АН СССР). – М., 1983. – 169 с.

6. Воронин А. Н. Многокритериальная оптимизация динамических систем // Кибернетика, 1980. – №4. – С. 56–68.

7. Лурье З. Я., Лищенко И. Г. Выбор метода многокритериальной оптимизации проектирования объемных гидромашин // Вестн. Харьк. гос. политехн. ун-та.– Харьков: ХГПУ, 2000. – Вып. 89. – С. 155–163.

8. Бенайюн Р., Ларичев О. И., де Монголье Ж., Терни Ж. Линейное программирование. Метод ограничений // Автоматика и телемеханика, 1971. – №8. – С. 108–115.

9. Растригин Л. А., Эйдук Я. Ю. Адаптивные методы многокритериальной оптимизации // Автоматика и телемеханика, 1985. – №1.– С. 5–26.

10. Ларичев О. И. Человеко-машинные процедуры принятия решений. (Обзор) // Автоматика и телемеханика, 1971. – №12. – С. 130–142.

11. Лурье З. Я., Лищенко И. Г. Многокритериальное проектирование радиально-поршневого гидроматора многократного действия // Привод и управление. – 2001. – № 1. – С. 22–26.

12. Соболь И. М., Статников Р. Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. – М.: Наука, 1981. – 107 с.

13. Горбатюк Н. В. Многокритериальное проектирование гидрообъемно-механической передачи // Промислова гідравліка і пневматика. – Вінниця: ВДАУ. – 2004. – № 2 (4). – С. 43–47.

14. Оптнер С. М. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем. – М.: Советское радио, 1963. – 256 с.

ЗМІСТ

ВСТУП.....3
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 1. Складання структурно-функціональних схем та графів причинно-наслідкових зв’язків гідроагрегатів.....4
1.1. Методичні вказівки.....4
1.2. Побудова логічних моделей.....8
1.3. Побудова графів причинно-наслідкових зв’язків.....11
Запитання для самоконтролю.....13
Завдання.....13
ПРАКТИЧНЕ ЗАНЯТТЯ 2. Оптимізація режимів технічного обслуговування та діагностування гідроприводів машин.....13
2.1. Загальні методичні положення.....13
2.2. Моделювання процесів відновлення елементів гідроприводу....15
2.3. Визначення оптимальної періодичності технічного обслуговування та діагностування гідравлічних приводів.....18
2.4. Вибір сучасного методу оптимізації.....24
Запитання для самоконтролю.....28
Завдання.....28
Додаток 1.....29
Додаток 2.....32
Список літератури.....33

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ НА ТЕМУ “СКЛАДАННЯ СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНИХ СХЕМ ТА ГРАФІВ ПРИЧИННО-НАСЛІДКОВИХ ЗВ’ЯЗКІВ ГІДРОАГРЕГАТІВ” ТА “ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМІВ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І ДІАГНОСТУВАННЯ ГІДРОПРИВОДІВ МАШИН”
З КУРСУ “ ДІАГНОСТИКА І КОНТРОЛЬ ГІДРОПНЕВМОПРИВОДІВ”
для студентів спеціальності 7.090209 “Гідравлічні та пневматичні машини”

Укладачі: АНДРЕНКО Павло Миколайович
ДМИТРІЄНКО Ольга Вячеславівна
ПАНАМАРЬОВА Ольга Борисівна
СВИНАРЕНКО Максим Сергійович

Відповідальний за випуск П.М. Гладкий

Роботу до видання рекомендував В.В. Бородаєвський

Редактор М.П. Єфремова

План 2007 р., поз. 18/49-08.

Підп. до друку 01.04.2008 р. Формат 60х84 1/16. Папір офісний.
Riso-друк. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 1,8. Обл.-вид. арк. 2,1.
Наклад 50 прим. Зам. № . Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ “ХПІ”.
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 116 від 10.07.2000 р.
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

Друкарня НТУ “ХПІ”. 61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.