

Шифр «Електротрактор»

ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ТЯГОВОГО
ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ДЛЯ ЕЛЕКТРОТРАКТОРА

Харків

2020

Об'єкт дослідження – енергетика електротракторів.

Мета роботи – визначення основних характеристик тягового електроприводу для електротрактора п'ятого тягового класу.

Метод дослідження заснований на використанні системного підходу до проведення аналізу та синтезу тягового пристрою тракторів, на раціональному поєднанні теоретичних і експериментальних розробок та узагальненні наукових результатів.

Предмет дослідження – моделювання та статистичний аналіз потоків потужності електротракторів.

Основні задачі дослідження:

- розглянути розвиток електроприводу для тракторів;
- проаналізувати режими роботи тракторів п'ятого тягового класу;
- визначити рівні потужності тягового електроприводу трактора;
- проаналізувати сучасні електродвигуни для тягового приводу;
- розглянути схеми побудови електротрансмісії тракторів;
- проаналізувати перспективні методи керування електротрансмісією тракторів;
- формулювання висновків.

ЗМІСТ

Вступ.....	7#
1 Класифікація тракторів по тяговому класу	9#
2 Трансмісія сучасного трактора	16#
2.1 Гідростатична трансмісія (ГСТ)	16#
3 Електропривод трактора п'ятого тягового класу	18#
3.1 Види електричних моторів і їх характеристики.....	18#
3.2 Електропривод на асинхронному електродвигуні.....	26#
4 Визначення основних електричних характеристик електродвигуна трактора#	
Висновки	31#
Перелік посилань.....	32#

ВСТУП

У сільському господарстві основну частку в складі собівартості продукції становлять витрати на паливо й паливомастильні матеріали, які постійно дорожчають. Крім того, експлуатація техніки із двигунами внутрішнього згоряння викликає багато дорікань у зв'язку з викидами парникових газів. Обслуговування ДВЗ вимагає постійної заміни технічних рідин і мастильних матеріалів з наступною утилізацією відпрацьованих матеріалів. Утилізація у свою чергу проводиться не якісно, а найчастіше відсутня взагалі. Усі ці фактори вимагають підвищеної уваги з боку контролюючих органів. Найчастіше це не завжди можливо.

Сучасні тенденції застосування електропривода на транспорті не обійшли стороною й агропромисловий комплекс. Провідними виробниками тракторів уже випускаються дослідні зразки техніки на електроприводі.

На відміну від своїх дизельних побратимів електротрактор практично не видає шуму. Також, модель на електротязі простіше ремонтувати, тому що в ній менше деталей. Крім того, фермери зможуть заощадити на пальному. У цей час повний заряд батареї повинен забезпечувати роботу протягом близько 4-х годин у нормальних умовах експлуатації або запас ходу близько 55 км. Час його зарядки повинний становити близько 3 год. Тривалість життя батареї становить близько 3100 циклів.

Переваги електротрактора ґрунтуються не тільки на винятковій ефективності, але й на можливості його використання у фермі по виробництві поновлюваних джерел енергії. Акумулятор з великою ємністю дозволяє підтримувати автономність сільського господарства (служити резервним джерелом живлення) і поліпшувати мережну інтеграцію ВІЕ.

Електричний привод у найближчому майбутньому стане нормою для будь-яких транспортних засобів. Наступний етап розвитку в епоху четвертої промислової революції - це повна автоматизація. У цей час розробляються

концепти безпілотного трактора під дистанційним контролем оператора. Деякі країни, наприклад, Японія, уже готуються до автоматизації сільського господарства й інвестують у робототехніку.

В наступний час найбільш поширеним приводом з сучасними системами автоматизації є гідравлічна трансмісія, в якій привід кожного колеса здійснюється окремо власним гідромотором. Керування швидкістю пересування здійснюється за рахунок зміни кута нахилу тарілчастого механізму, що контролюється електромагнітним соленоїдом пропорційного керування.

В процесі експлуатації гідрооб'ємної трансмісії велика кількість енергії перетворюються в тепло та втрачається, що взагалі суттєво знижує енергоефективність використання трактору. Найбільш простим способом підвищити енергоефективність та надійність експлуатації тракторів є застосування електроприводу коліс. Таким чином ми позбавляємось від досить складної і ненадійної трансмісії, що включає в себе коробку переключення передач, зчеплення, карданні вали, розподільну коробку, диференціал та інші елементи.

1 КЛАСИФІКАЦІЯ ТРАКТОРІВ ПО ТЯГОВОМУ КЛАСУ

Усі сільськогосподарські трактори по своєму призначенню діляться на шість великих груп [1]:

- міні-трактори (класи 0,2, 0,4) – техніка для роботи на малих по розміру ділянках із застосуванням навісного або причіпного встаткування, підходять для транспортних робіт;

- універсальні трактори (класи 0,6, 0,9, 1,4 і 2) – техніка для виконання загально господарських робіт, для обробки, оброблення й збирання зерно господарчих культур (просапних);

- універсально-просапні (класи 0,6, 0,9, 1,4, 2) – техніка, що використовується для первинної обробки ґрунту (оранки, боронування, культивуації), посівних і збиральних робіт, оброблення просапних культур, а також для розв'язку транспортних завдань;

- трактори загального призначення (класи 3, 4, 5, 6, 7) – техніка для виконання енергоємних операцій, у тому числі для оранки, культивуації, лущення стерн, снігозатримання, проведення меліоративних робіт, виконання транспортних операцій і т.д. Дані трактори застосовуються тільки на полях великої площі;

- спеціалізовані трактори – машини різних класів для обробки окремих культур (овочівницькі, буряківничі, бавовницькі й інші);

- самохідні шасі – невелика група тракторів малих класів (найвідоміший – Т-16) з розташованою в передній частині рамою для платформи.

Усі трактори розділяються на класи по тяговому зусиллю. В інших країнах СНД клас тракторів визначається інтервалом 0,2-8 для сільськогосподарських машин і 0,2-75 – для агрегатів промислового типу, рисунок 1.1.

Поняття тягового класу трактора встановлене ДСТ 27021-86. Характеристика пов'язана з ефективністю силового агрегату, відображає її



Рисунок 1.1 – Трактор сільськогосподарського призначення

зв'язок з конструкцією і загальною вагою машини. Визначається як зусилля на полі, що максимально розвивається агрегатом при пробуксовці в наступних умовах, рисунок 1.2:

- при вологості ґрунту від 8 % до 18 %;
- на стернях, що має середню щільність;
- при максимальному значенні ККД машини.

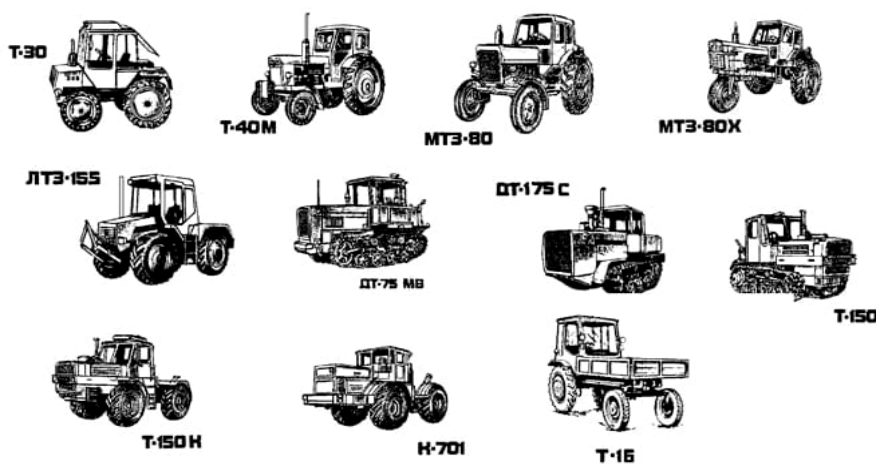


Рисунок 1.2 – Лінійка тракторів сільськогосподарського призначення

Для промислових, що використовуються у лісовому господарстві, повноцінними класами вважаються 0,6-2. Машини, що застосовуються при навантаженні, трубо укладанні, меліоративних і будівельних роботах, на підприємствах, перебувають у групах 3-75.

Класифікація тракторів по тяговому класу встановлена ДСТ 27021-86. Для сільськогосподарських машин існує 10 груп, рисунок 1.3, для промислових – 11. У документі є відповідні таблиці, що зв'язують клас із номінальним тяговим зусиллям, конструкційною масою.



Рисунок 1.3 – Колісний трактор загального призначення

Класифікують агрегати по потужності моторів, яка:

- для сільськогосподарських тракторів першої групи (0,2) не перевищує 20 кВт, для восьмої становить від 320 кВт до 350 кВт;
- для промислових машин 0,6 класу становить до 30 кВт, для 5 – 150 кВт, для 7 – 580 кВт.

0,2 клас. Група поєднує важкі мотоблоки, міні-трактори. Агрегати використовуються:

- для обробки невеликих ділянок, при виведенні нових сортів рослин, розробці способів культивування ґрунтів;
- для обслуговування тварин, у тому числі у комплексах;
- фермерами, що мають невеликі поля;
- садівниками, городниками, в особистому господарстві;
- у комунальному господарстві, малому будівництві.

До класу ставляться міні-трактори Білорус із індексами 08 К, 082, 084, 112, 132Н. У переліку продукція:

- Гомсельмаша – АМЖК-8;

– Алтайського й Харківського тракторних заводів, відповідно, МТ-15 і Т-012;

– Курганського машзавода – КМЗ-012Ч;

– ЧТЗ – Уралець, Т-0,2.

Перераховані машини: колісні; з колісною формулою – 4х2; з потужністю моторів – до 20 кВт; 0,4 класу.

Клас тяги тракторів включає, у порівнянні з іншими, тільки 1 трактор, що випускався в Харкові в з 1950 р. до 1956 р. – ХТЗ-7. Машина колісна (4х2), перша малогабаритна серед радянських тракторів. Відноситься до садово-городніх. Застосовується в городництві, садівництві, для перевезення невеликих вантажів, на допоміжних роботах. Має силовий агрегат потужністю 12 к.с.

У групі трактори, що брали участь у сільськогосподарському виробництві. З їхньою допомогою виконують наступні функції:

– готовлять ґрунт до посіву зернових, посадці овочів, чагарників і дерев у садах, при облагороджуванні територій;

– доглядають за садами;

– збирають урожай;

– підготовляють, транспортують, розподіляють їжу для тварин;

– транспортують матеріали, устаткування при комунальних роботах.

У класі колісна машина Т-16М і її наступні модифікації з моторами до 30 к.с. Тут же Т-25, 30, агрегат ВТЗ-2032, що випускається об'єднанням Агромаш. У переліку вироби з маркою Білорус (300-321), ХТЗ (Т-30А, 16МГ, 2511).

Потужність силових агрегатів не перевищує 25 кВт. Їхня колісна формула – 4х2; 0,9 клас.

Група представлена не тільки колісними машинами, але й окремими агрегатами на гусеничному ході з потужністю моторів до 45 кВт. Причому, серед перших є механізми з колісною формулою 4х2, як у попередніх класах, так і 4х4. Представлені також трактори:

- з 3 колесами (3х2), використовуються в бавовництві;
- зі зниженим кліренсом, які зручні для робіт у горах;
- з коробками передач, що мають розширений діапазон швидкостей, що перемикаються.

Область застосування машин: обробка ґрунтів легкого типу до посіву різних культур; заготовка сінажу; міжрядне підгортання; збиральні роботи; обприскування посадок при боротьбі зі шкідниками; транспортні роботи.

У числі представників групи є трактори:

- з Белорусі – Білорус-422;
- від компанії Агромаш – 50ТК, 60ТК;
- від Владимирського тракторного заводу – ВТЗ 45АТ, 2048А;
- з Липецька – ЛТЗ-60АБ, 60АБ10, 55, 55А, 55АН і Т40М, Т40;
- з Ташкента – Т-24Х4М, 80.10.

1,4 клас. У групі:

- липецький агрегат – ЛТЗ-60АВ;
- мінські машини – МТЗ-50, 52, 80.1, 82, Білорус (900, 921, 923);
- дніпровські трактори ЮМЗ-6 (моделі АКМ, ДМ);
- виріб від корпорації Агромаш – 85ТК.

Перераховані трактори: мають потужність (до 75 кВт) і тяговим зусиллям, що дозволяють долати складні дорожні умови; використовуються для обробки (оранки, культивування, боронування) не тільки легких, але й середніх ґрунтів; представлені колісними моделями з 3 і 4 колесами, із приводом на 2 і 4 колеса (практично по 50 %).

2 клас. У групі починають переважати гусеничні машини з більшим розкидом максимальної потужності моторів:

- до 50 кВт для роботи на виноградниках, у садах, буряківництві;
- до 60 – для буряківництва й робіт у горах;
- до 100 – порталного типу.

З колісних в 2 класі представлені універсальні просапні агрегати з повним приводом, різними й однаковими по діаметру колесами на осях. Їхня максимальна потужність від 110 кВт до 175 кВт.

Найбільш затребуваними представниками серед гусеничних є машини Т-70, 70С, 54В з Кишинева, Т-90С – з Харкова. З колісних:

- білоруські – ШУ-356, Білорус 1221, 1220;
- липецькі – ЛТЗ-155, 95;
- 160-ТК від Агромаша.

3 клас. У колісних тракторів 3 (аж до 5) групи колісна формула може бути 4х4 і 6х6. Їхня потужність обмежено 140 кВт. З моделей це:

- Т-150 К і його модифікації (09, 09-25), ХТЗ (17021, 17221, 17221-09, 17221-18, 17221-19, 17221-21, 242 ДО, 246 К) з Харкова;
- МТЗ-2022, 2103 від Мінського тракторного заводу;
- АТМ 3180, 4200 з німецькою трансмісією ZF і двигуном Deutz від корпорації Агромаш.

Гусеничні машини в тяговому класі потужністю 70-140 кВт, які: випускали в Харкові – Т-150 (модифікації – 05-09, 05-09-25, 05-09-25-04), ДТ (175, 75), Т-74; робить концерн Агромаш – моделі 180ТК, 90ТГ, ТГ150.

4 клас. 4 група машин по тяговому зусиллю представлена гусеничними й колісними тракторами. Агрегати залучаються для виконання робіт, що вимагають великих енерговитрат. Їх використовують для обробки полів великої площі.

Потужності моторів машин:

- до 75 кВт на гусеничному ході;
- до 125 кВт, що пересуваються на колесах.

Пневмоколісні агрегати представлені: Кіровцем К-424, Терріоном АТМ-4200, що випускаються Агромашем, МТЗ-2022 під маркою Білорус.

5 клас. З гусеничних агрегатів у цій групі Т-404, 250, 501 від Алтайського тракторного заводу. Кількість колісних машин більше: АТМ 5280, які випускає

Агромаш під маркою Terrion, Кіровці К700, 701, 702, 703, 744, Вироби Білорус від МТЗ (2522, 2822, 3022, 3023), рисунок 1.4.



Рисунок 1.4 – Пневмоколісні агрегати

Потужність силових агрегатів з гусеничним ходом – до 175 кВт, з колісним – від 180 кВт до 210 кВт. Вони в стані впоратися з великими обсягами оранки, лущення стерн, снігозатримання, культивуації. Застосовуються для перевезення різних вантажів.

6 клас. У цій групі машини гусеничні, болотоходні, з моторами потужністю до 125 кВт. Створені спеціально для меліоративних робіт, але трудяться в сільгосппідприємствах на обробці більших по площі полях.

Випускаються агрегати: концерном Агромаш – модель Руслан; Кіровським тракторним заводом – К744 у модифікаціях Р2, Р3, Р4; Ростсельмашем – Versatile 535 з колісною формулою 8х4, що є рекордсменом по обробці великих полів.

7 клас. У ньому 1 представник – АТМ 7360. Він колісний, виробництва Агромаш. Випускається в серії Терріон. У ньому використаний: передній міст від італійської фірми Carraro; гідравліка Бош (Німеччина); німецька трансмісія ZF і мотор Deutz BF 6М 1013 FC (280 к.с.).

Трактор здатний виконувати енергоємні сільськогосподарські роботи, такі як: обробляти ґрунт; забирати врожай; робити суцільний посів.

2 ТРАНСМІСІЯ СУЧАСНОГО ТРАКТОРА

2.1 Гідростатична трансмісія (ГСТ)

Гідростатична трансмісія (ГСТ) – це замкнена гідросистема, яка складається з одного або декількох гідронасосів і одного або декількох гідромоторів. Розрахована на передачу механічної енергії обертання від двигуна через насос до виконавчої конструкції (шнеку, колеса, бочці) за допомогою напрямку робочої рідини по безступінчато регульованому по розміру й спрямованості гідромотору, тобто іде передача енергії від двигуна до колеса плавно й без ривків через гідравлічну систему “насос-мотор”, рисунок 2.1 та 2.2.

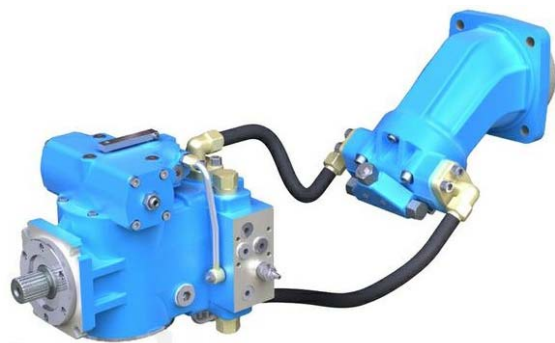


Рисунок 2.1 – Гідростатична трансмісія

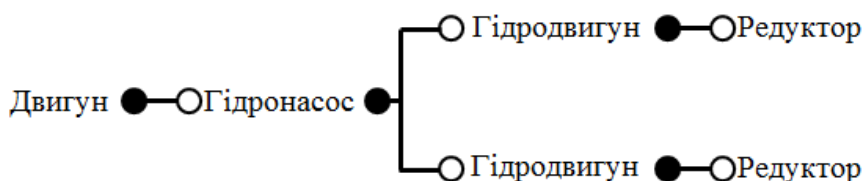


Рисунок 2.2 – Схема гідравлічної системи трансмісії

Дана схема дозволяє максимально використовувати потужність двигуна для виконання різних операцій й одночасно зберігати задану швидкість переміщення й плавність ходу.

ГСТ використовуються на гусеничних тракторах. Насос працює від автономного двигуна або від роздавальної коробки й створює постійний тиск у гідросистемі. Швидкість і напрямок обертання мотора, який установлений на

бочку, задається регулятором потоку, установленим на самому насосі. Керування може бути механічним або електричним.

Застосування ГСТ на бульдозерах і на гусеничній техніці дозволило знизити вагу самих бульдозерів – відпадає необхідність у механічних КПП із бортовими фрикціонами. Гідромотори обертають бортові редуктори, які пускають у хід приводні шестірні.

Якщо необхідно зробити незалежними правий і лівий приводні колеса, то надходять у такий спосіб: кожний борт машини є незалежною ГСТ, керування якої відбувається електронним процесором, щоб при русі вперед або назад два борти рухалися прямолінійно.

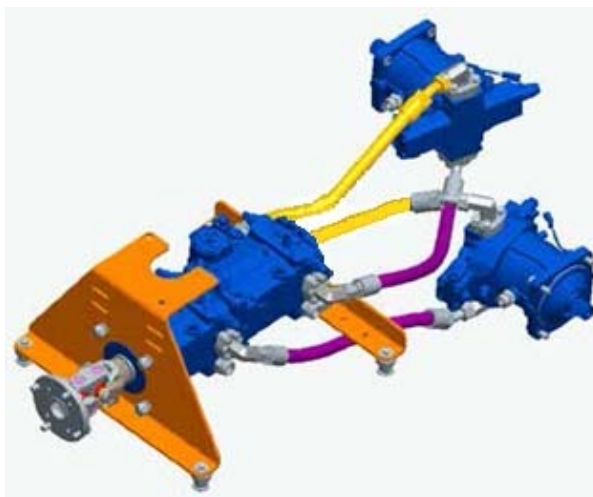


Рисунок 2.3 – Схема застосування ГСТ на бульдозерах

Завдяки застосуванню ГСТ на бульдозерах, стало неможливо заглушити машину при повільному русі вперед і максимально опущеному відвалі, як це було на бульдозерах з механічною КПП. Гідравліка, укупі з електронікою, не дає заглушити двигун, а просто припиняється рух бульдозера. Оператор буде змушений або збільшити швидкість руху бульдозера, або підняти відвал вище.

3 ЕЛЕКТРОПРИВОД ТРАКТОРА П'ЯТОГО ТЯГОВОГО КЛАСУ

3.1 Види електричних моторів і їх характеристики

Електричні двигуни давно стали щоденністю для нас. Вони все частіше починають використовуватися в повсякденності. Спочатку їх сферою застосування були гідро- та паротурбіни. Головною особливістю двигунів змінного струму є їхня оборотність – тобто він може працювати як у руховому так і в генераторному режимі.

Двигун змінного струму – електричний двигун, живлення якого здійснюється змінним струмом. За принципом роботи ці двигуни розділяються на синхронні й асинхронні двигуни [3]. Принципова відмінність полягає в тому, що в синхронних машинах перша гармоніка магніторушійної сили статора рухається зі швидкістю обертання ротора (завдяки чому сам ротор обертається зі швидкістю обертання магнітного поля в статорі), рисунок 3.1, а в асинхронних – завжди є різниця між швидкістю обертання ротора й швидкістю обертання магнітного поля в статорі (поле обертається швидше ротора).

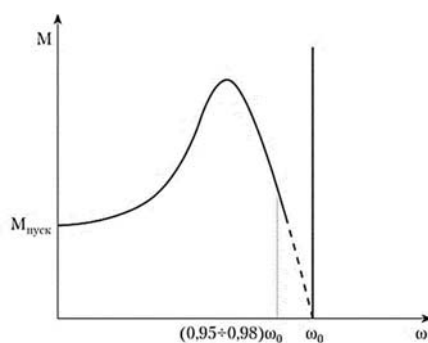


Рисунок 3.1 – Механічна характеристика синхронного двигуна

Синхронна машина – це електрична машина змінного струму, частота обертання ротора якої дорівнює частоті обертання магнітного поля в повітряному зазорі. Основними частинами синхронної машини є якір і індуктор (обмотка збудження), рисунок 3.2. Як правило, якір розташовується на статорі, а на відділеному від нього зазором роторі перебуває індуктор.

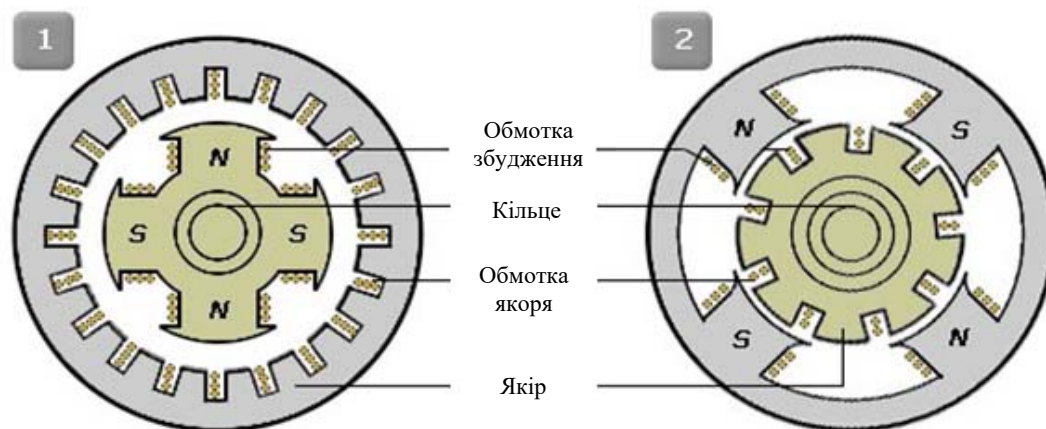


Рисунок 3.2 – Конструкція синхронного електродвигуна

Якір являє собою одну або кілька обмоток змінного струму. У двигунах струми, що подаються в якір, створюють обертове магнітне поле, яке зчіплюється з полем індуктора, і в такий спосіб відбувається перетворення енергії. Поле якоря впливає на поле індуктора й називається тому також полем реакції якоря. У генераторах поле реакції якоря створюється змінними струмами, індуктованими в обмотці якоря від індуктора.

Індуктор складається з полюсів – електромагнітів постійного струму або постійних магнітів (у мікромашинах). Індуктори синхронних машин мають дві різні конструкції: явнополюсну або неявнополюсну. Явнополюсна машина відрізняється тим, що полюси яскраво виражені й мають конструкцію, схожу з полюсами машини постійного струму. При не явнополюсній конструкції обмотка збудження укладається в пази сердечника індуктора, досить схожі на обмотку роторів асинхронних машин з фазним ротором, з тією лише різницею, що між полюсами залишається місце, не заповнене провідниками (так званий “великий зуб”). Неявнополюсні конструкції застосовуються у швидкохідних машинах, щоб зменшити механічне навантаження на полюси.

Для зменшення магнітного опору, тобто для поліпшення проходження магнітного потоку, застосовуються феромагнітні сердечники ротора й статора. В основному вони являють собою шихтовану (набрану з окремих аркушів) конструкцію з електротехнічної сталі.

Існують синхронні двигуни з дискретним кутовим переміщенням ротора – крокові двигуни. У них задане положення ротора фіксується подачею живлення на відповідні обмотки. Перехід в інше положення здійснюється шляхом зняття напруги живлення з одних обмоток і передачі його на інші. Ще один вид синхронних двигунів – вентильний реактивний електродвигун, живлення обмоток якого формується за допомогою напівпровідникових елементів.

Для роботи синхронного двигуна необхідне розкручування його до частоти, близької до частоти обертання магнітного поля в зазорі, перш ніж зможе працювати в синхронному режимі. При такій швидкості обертове магнітне поле якоря зчіплюється з магнітними полями полюсів індуктора: якщо індуктор розташований на статорі, то виходить, що обертове магнітне поле обертового якоря (ротора) нерухомо щодо постійного поля індуктора (статора), якщо індуктор на роторі, то магнітне поле обертових полюсів індуктора (ротора) нерухомо щодо обертового магнітного поля якоря (статора) – це явище називається “вхід у синхронізм”. Для розгону звичайно використовується асинхронний режим, при якому обмотки індуктора замикаються через реостат або накоротко, як в асинхронній машині, для такого режиму запуску в машинах на роторі робиться короткозамкнена обмотка, яка також виконує роль заспокійливої обмотки, що усуває “розгойдування” ротора при синхронізації. Після виходу на швидкість, близьку до номінальної ($>95\%$ – так звана підсинхронна швидкість), індуктор живиться постійним струмом.

У двигунах з постійними магнітами застосовується зовнішній розгінний двигун або частотно-регульований пуск, також частотне регулювання застосовують на всіх типах синхронних двигунів у робочому режимі – наприклад, на тягових двигунах швидкісного електропоїзда TGV. Двигуни старих електропрогравачів вимагали ручного пуску – прокручування пластинки рукою, пізніше в програвачах стали застосовуватися асинхронні двигуни.

Вентильний реактивний електродвигун (ВРД) – це безколекторна синхронна машина, на обмотки статора якої подаються імпульси напруги

керованої частоти, що створюють обертове магнітне поле. Обертаючий момент виникає за рахунок прагнення ротора до положення, при якому магнітний потік статора проходить по осі ротора, виготовленого з магнітом'якого матеріалу, з найменшим магнітним опором, рисунок 3.3

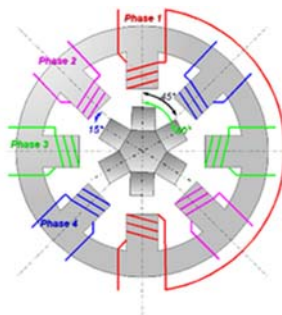


Рисунок 3.3 – Схема перетину ВРД із 8 статорними та 6 роторними полюсами

Переваги вентильних двигунів. Вентильні реактивні електродвигуни/генератори мають наступні гідності:

- проста конструкція. Ротор і статор виконані у вигляді пакетів листового магнітом'якого матеріалу. На роторі ВРД відсутні обмотки й постійні магніти. Фазні обмотки перебувають тільки на статорі. Для зменшення трудомісткості котушки обмотки статора можуть виготовлятися окремо, а потім надіватися на полюси статора;

- висока ремонтпридатність. Простота обмотки якоря підвищує ремонтпридатність ВРД/ВРГ, тому що для ремонту досить замінити котушку, що вийшла з ладу;

- відсутність механічного комутатора. Керування електромеханічним перетворювачем електропривода/генератора здійснюється за допомогою високоефективних силових напівпровідникових елементів – IGBT або MOSFET (HEXFET) транзисторів, надійність яких суттєво перевищує надійність будь-яких механічних деталей, наприклад: колекторів, щіток, підшипників;

- відсутність постійних магнітів. ВРД/ВРГ не містять постійних магнітів ні на роторі, ні на статорі, при цьому він успішно конкурує по характеристиках з

вентильними електричними двигунами з постійними магнітами (ВЕДПМ). У середньому, при однакових електричних і масогабаритних характеристиках ВРД/ВРГ має в 4 рази меншу вартість, значно більшу надійність, більш широкий діапазон частот обертання, більш широкий діапазон робочих температур. Конструктивно, у порівнянні з ВЕДПМ, ВРД/ВРГ не має обмеження по потужності (практично, потужність ВЕДПМ обмежується межею від 20 кВт до 40 кВт). ВЕДПМ вимагають захисту від металевого пилю, бояться перегріву й сильних електромагнітних полів, у випадку короткого замикання обмотки перетворюються в самозаймисту систему. Вентильні реактивні електродвигуни/генератори вільні від усіх цих недоліків;

- на виготовлення ВРД/ВРГ потрібно в середньому в 2-3 рази менше міді, і в 1-3 рази менше міді, чим для асинхронного електродвигуна;

- тепловиділення відбувається в основному тільки на статорі, при цьому легко забезпечується герметична конструкція, повітряне або водяне охолодження;

- у робочому режимі не потрібне охолодження ротора. Для охолодження ВРД/ВРГ досить використовувати зовнішню поверхню статора;

- високі масогабаритні характеристики: у більшості випадків ВРД/ВРГ може бути виконаний з порожнім ротором. Товщина стінки ротора при цьому повинна бути не менш половини ширини полюса. Добором кількості полюсів статора й ротора можуть бути оптимізовані масогабаритні характеристики електродвигуна/генератора, його потужність при заданому моменті й діапазоні частоти обертання;

- низька трудомісткість: простота конструкції ВРД/ВРГ знижує трудомісткість його виготовлення. По суті, його можна виготовити навіть на промисловім підприємстві, що не спеціалізується в області електромашинобудування. Для серійного виробництва ВРД/ВРГ потрібно звичайне механічне встаткування – штампи для виготовлення шихтованих сердечників статора й ротора, токарські й фрезерні верстати для обробки валів і

корпусних деталей. Трудомісткі й складні в технологічній операції, наприклад, виготовлення колектора й щіток колекторного електродвигуна або заливання клітки ротора асинхронного двигуна, тут відсутні. За попередніми оцінками трудомісткість виготовлення обмоток статора вентильного реактивного електродвигуна становить на 70% менше трудомісткості виготовлення колекторного й на 40% менше трудомісткості виготовлення асинхронного електродвигуна;

– гнучкість конструювання: простота обмотки якоря й відсутність обмотки й магнітів на роторі забезпечує ВРД/ВРГ високу гнучкість конструювання. Конструкція електродвигуна/генератора може бути плоскою, витягнутою, зверненою, секторною, лінійною. Для випуску цілого типоряду електродвигунів/генераторів з різною потужністю можна використовувати той самий комплект штампів для вирубки ротора й статора, оскільки для збільшення потужності досить збільшити відповідно довжину набору ротора й статора. Не важко буде виготовляти машини з розташуванням статора як зовні ротора, так і навпаки, а також вбудовування електроніки в корпус машини. Зміна коефіцієнта електромагнітної редукції дозволяє створювати машини для полегшених і, навпаки, тяжких умов роботи, включаючи моментні двигуни. Для привода деяких робочих машин вигідніше мати лінійні електродвигуни зі зворотно-поступальним переміщенням зубчатого штока (аналога ротора). У ряді випадків може бути використана давно відома, але неефективна у випадку асинхронного електродвигуна конструкція дугостаторної машини, статор якої охоплює доступну для розміщення дугу окружності ротора, у якості якого може використовуватися вал із зубчастим колесом;

– висока надійність: простота конструкції забезпечує ВРД/ВРГ більш високу безвідмовність, чим безвідмовність інших типів електричних машин. Конструктивна й електрична незалежність фазних обмоток забезпечує працездатність ВРД навіть у випадку повного замикання полюсної котушки

однієї з фаз. ВРГ залишається працездатним навіть після виходу з ладу однієї або двох фаз;

– широкий діапазон частот обертання (від одиниць до сотень тисяч об/хв). Електромагнітна редукція дозволяє створювати малогабаритні “моментні” електродвигуни для приводів роботів, маніпуляторів і інших низькообертових механізмів або низькообертові високоефективні генератори для вітрових або хвильових електростанцій. У той же час частота обертання швидкохідних ВРД/ВРГ може перевищувати 100000 об/хв;

– високий ККД у широкому діапазоні частот обертання: практично досяжний ККД вентильного реактивного електродвигуна/генератора потужністю 1 кВт може доходити до 90 % у діапазоні 10-кратної перебудови частоти обертання. ККД могутніших електричних машин може досягати від 95 % до 98 %. ВРД часто плутають із синхронним реактивним електродвигуном (СРД), обмотки якоря якого живляться синусоїдально змінними напругами без зворотного зв'язку по положенню ротора. СРД має низький ККД, який не перевищує 50 % для малопотужних електродвигунів і до 70 % для потужних електричних машин;

– імпульсний характер живлення забезпечує зручне сполучення із сучасною цифровою електронікою: оскільки ВРД/ВРГ живиться (збуджується) однополярними імпульсами, для керування перетворювачем частоти потрібен простий електронний комутатор. Управляючи шпаруватістю імпульсів силових транзисторів електронного комутатора можна плавно змінювати форму імпульсів струму фазних обмоток електродвигуна або генератора;

– електронне керування електричними й механічними характеристиками, режимом роботи: природня механічна характеристика ВРД/ВРГ визначається реактивним принципом дії електричної машини й близька до гіперболічної форми. Основна властивість такої характеристики – сталість потужності на валу машини – виявляється надзвичайно корисною для електроприводів з обмеженою потужністю джерела, тому що при цьому легко реалізується умова його

неперевантажуваності. Застосування замкненої системи керування зі зворотними зв'язками по швидкості й навантаженню дозволяє одержати механічні характеристики будь-якої заданої форми, включаючи жорсткі характеристики, і не веде до ускладнення системи керування, тому що її процесор має велику надмірність по числу входів і виходів, швидкодії й пам'яті. Фактично поле доступних механічних характеристик безперервним чином покриває всі чотири квадранти площини момент-швидкість у межах області обмежень конкретного електропривода;

- низька вартість електромеханічного перетворювача: вартість ВРД виявляється самою низкою із усіх відомих конструкцій електричних машин. Дорогим у розглянутій системі електропривода можна вважати електронний перетворювач, який є обов'язковим елементом усіх сучасних регульованих електроприводів. Однак, ціни на вироби силової електроніки в міру розвитку масштабів виробництва мають стійку тенденцію до зниження. Виключення із складу ВРД/ВРГ комутаційних апаратів, для виготовлення яких необхідна мідь, що безупинно дорожчає, також сприяє зменшенню вартості;

- економічна ефективність ВРД підвищується також у результаті суттєво меншої витрати електроенергії, обумовленого високим ККД електродвигуна й застосуванням найбільш економічних стратегій керування в динамічних режимах роботи.

Недоліки:

- низький коефіцієнт потужності. Він обумовлений значною величиною, що намагнічує складової струму статора;

- низький ККД при невеликих потужностях. У реактивних двигунах потужністю в кілька десятків Вт ККД становить від 30 % до 40 %, а у двигунах потужністю до 10 Вт не перевищує 10 %;

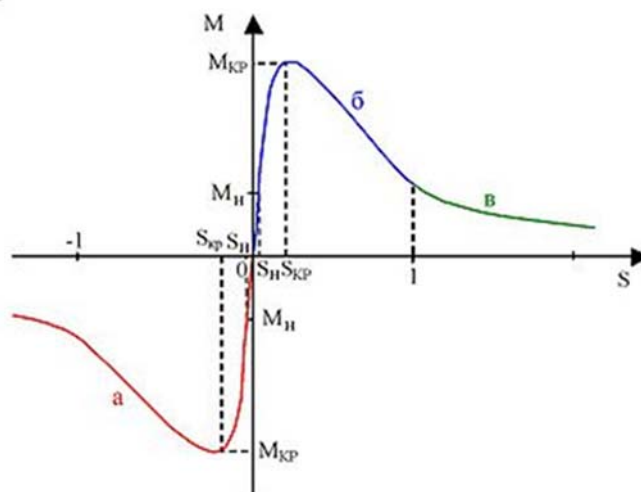
- по габаритах реактивні двигуни більше синхронних і асинхронних двигунів.

3.2 Електропривод на асинхронному електродвигуні

Електричний двигун змінного струму, частота обертання ротора якого не дорівнює (у руховому режимі менше) частоті обертання магнітного поля, що створюється струмом обмотки статора.

У ряді країн до асинхронних двигунів відносять також колекторні двигуни. Друга назва асинхронних двигунів – індукційні, це обумовлене тим, що струм в обмотці ротора генерується обертовим полем статора. Асинхронні машини сьогодні становлять більшу частину електричних машин, застосовуючись головним чином у якості електродвигунів і є основними перетворювачами електричної енергії в механічну, у переважній більшості це асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором (АДКЗ).

Принцип дії асинхронного двигуна полягає в тому, що струм в обмотках статора створює обертове магнітне поле. Це поле наводить у роторі струм, який починає взаємодіяти з магнітним полем таким чином, що ротор починає обертатися в ту ж сторону, що й магнітне поле. Частота обертання ротора завжди менше частоти обертання магнітного поля, тому що при рівності швидкостей поле перестане наводити в роторі струм, і на ротор перестане діяти сила Ампера. Звідси й назва – асинхронний двигун (на відміну від синхронного, частота обертання якого збігається із частотою магнітного поля). Відносна різниця швидкостей обертання ротора й частоти змінного магнітного поля називається ковзанням. У режимі, що встановився, ковзання невелике: від 1 % до 8 % залежно від потужності, рисунок 3.4. Якщо ротор нерухливий або частота його обертання менше синхронної, то обертове магнітне поле перетинає провідники обмотки ротора й індукує в них ЕРС, під дією якої в обмотці ротора виникає струм. На провідники зі струмом цієї обмотки (а точніше, на зубці сердечника ротора), діють електромагнітні сили; їхнє сумарне зусилля утворює електромагнітний обертаючий момент, що захоплює ротор слідом за магнітним полем.



а - режим рекуперації енергії в мережу (генераторний режим);
 б - рухомий режим; в - режим противмикання (режим електромагнітного гальма).
 Рисунок 3.4 – Механічна характеристика асинхронної машини

Якщо цей момент достатній для подолання сил тертя, ротор приходить в обертання, і його частота обертання, що встановилася, n_2 , об/хв, відповідає рівності електромагнітного моменту гальмування, створюваного навантаженням на валу, силами тертя в підшипниках, вентиляцією і т.д. Частота обертання ротора не може досягти частоти обертання магнітного поля, тому що в цьому випадку кутова швидкість обертання магнітного поля щодо обмотки ротора стане рівною нулю, магнітне поле перестане індукувати в обмотці ротора ЕРС і, у свою чергу, створювати обертаючий момент.

Короткозамкнена обмотка ротора, часто називана “біляче колесо” (“біляча клітка”) через зовнішню схожість конструкції, рисунок 3.5, складається з алюмінієвих (рідше мідних, латунних) стрижнів, замкнених накоротко з торців двома кільцями. Стрижні цієї обмотки вставляють у пази сердечника ротора. Сердечники ротора й статора мають зубчасту структуру. У машинах малої й середньої потужності обмотку звичайно виготовляють шляхом заливання розплавленого алюмінієвого сплаву в пази сердечника ротора.

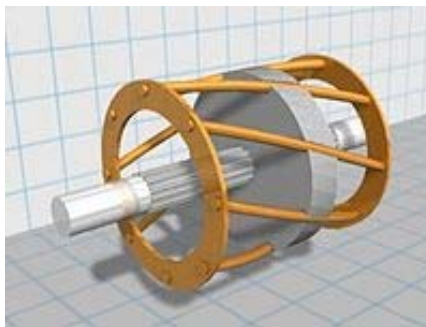


Рисунок 3.5 – Конструкція ротору асинхронної машини типу “біляче колесо”

Разом зі стрижнями “білячого колеса” відливають короткозамкнені кільця й торцеві лопати, що здійснюють вентиляцію машини. У машинах великої потужності “біляче колесо” виконують із мідних стрижнів, кінці яких з'єднують із короткозамкненими кільцями за допомогою зварювання.

Найчастіше пази ротора або статора роблять скошеними для зменшення вищих гармонійних ЕРС, викликаних пульсаціями магнітного потоку через наявність зубців, магнітний опір яких суттєво нижче магнітного опору обмотки, а також для зниження шуму, викликуваного магнітними причинами.

Для поліпшення пускових характеристик асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором, а саме, збільшення пускового моменту й зменшення пускового струму, на роторі раніше застосовувалася так звана “подвійна біляча клітка” зі стрижнів з різними питомими провідностями, пізніше стали застосовувати ротори зі спеціальною формою паза (глибокопазні ротори). При цьому зовнішня від осі обертання частина паза ротора має менший перетин, чим внутрішня. Це дозволяє використовувати ефект витиснення струму, за рахунок якого збільшується активний опір обмотки ротора при великому ковзанні (зокрема, при пуску).

Асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором при прямому пуску (без регулювання) мають невеликий пусковий момент і значний пусковий струм, що є істотним їхнім недоліком. Тому їх застосовують у тих електричних приводах, де не потрібні великі пускові моменти. З розвитком силової напівпровідникової

техніки одержують поширення частотні перетворювачі, які дозволяють плавно нарощувати частоту струму, що живить двигун в міру пуску, а значить досягати великого пускового моменту. В якості переваг відзначимо легкість у виготовленні і відсутність електричного контакту з динамічною частиною машини, що гарантує довговічність і знижує витрати на обслуговування. При спеціальній конструкції ротора, коли обертається в повітряному зазорі тільки порожній циліндр із алюмінію, можна досягти малої інерційності двигуна.

Різновидом АДКЗ, що дозволяє східчасто регулювати швидкість, є багатошвидкісні двигуни, у яких регулювання швидкості проводиться зміною числа пар полюсів у статорі, для чого були розроблені спеціальні види обмоток.

Саме асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором через свої перераховані вище гідності є основним видом двигунів у промисловому електроприводі, застосування інших видів двигунів незначне й носить вузькоспеціальний характер.

Асинхронний двигун з масивним ротором. Існує різновид асинхронних машин з масивним ротором. Такий ротор виготовляють повністю з феромагнітного матеріалу, тобто фактично це сталевий циліндр. Феромагнітний ротор одночасно виконує роль як магнітопроводу, так і провідника (замість обмотки). Обертове магнітне поле індукує у роторі вихрові струми, які взаємодіючи з магнітним потоком статора створюють обертаючий момент.

Переваги: простота виготовлення, дешевина, висока механічна міцність (важливо для високошвидкісних машин), високий пусковий момент.

Недоліки: великі втрати енергії в роторі.

До особливостей віднесемо наступне: полого механічна характеристика; ротор значно нагрівається навіть при невеликих навантаженнях. Існують різні способи поліпшення масивних роторів: припаювання мідних кілець по торцях, покриття ротора шаром міді. Окремо можна поставити машини з порожнім ротором. Це може бути порожній циліндр із феромагнітного або просто із провідного матеріалу.

Асинхронний двигун з фазним ротором. Цей різновид електродвигуна допускає плавне регулювання швидкості в широких межах. Фазний ротор має багатофазну (як правило, трифазну) обмотку, звичайно з'єднану за схемою “зірка” і виведену на контактні кільця, рисунок 3.6. За допомогою щіток, що ковзають по цих кільцях, у коло обмотки ротора включається зовнішнє регулююче коло, яке дозволяє управляти швидкістю ротора.

Елементами даного кола є: пускорегулюючий реостат, виконуючий роль додаткового активного опору, однакового для кожної фази. Знижуючи пусковий струм, домагаються збільшення пускового моменту до

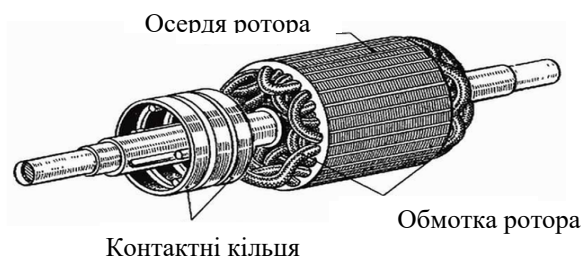


Рисунок 3.6 – Конструкція ротору асинхронної машини з фазним ротором.

максимального значення (у перший момент часу). Такі двигуни застосовуються для привода механізмів, які пускають у хід при великій навантаженні або потребуючих плавного регулювання швидкості. Таке регулювання швидкості по характеристиках аналогічно реостатному регулюванню швидкості в двигунах постійного струму змінного опору в колі якоря.

Індуктивності (дроселі) у кожній фазі ротора. Опір дроселів пропорційний частоті струму, що протікає, а, як відомо, у роторі в перший момент пуску частота струмів ковзання найбільша. У міру розкручування ротора частота індуктованих струмів знижується, і разом з нею знижується опір дроселя. Індуктивний опір у колі фазного ротора дозволяє автоматизувати процедуру запуску двигуна. Індуктивність тримає струми ротора на постійному рівні.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання роботи вирішена важлива науково-практична задача, що дозволяє підвищити конкурентоспроможність тракторів за рахунок підвищення ефективності роботи електроприводу транспортних засобів.

Система керування тягового електроприводу є складовою сучасного електротрактора п'ятого тягового класу і призначена забезпечення руху в режимах різноманітного навантаження.

У складі електричного приводу обов'язково повинен бути присутній бортовий комп'ютер, який демонструє водієві різну інформацію, необхідну на маршруті, про стан транспортного засобу, засоби зв'язку автомобіля з зовнішнім середовищем, з навігаційною системою, тощо. Бортний комп'ютер подає інформацію на сенсорний дисплей з програмованими віртуальними органами управління, та налагоджує зв'язок з мобільними системами водія.

Проведено дослідження електродвигунів сучасного електротрактора п'ятого тягового класу. Як об'єкт керування електродвигун характеризується вхідними та вихідними параметрами, внутрішніми параметрами або параметрами стану, зовнішніми впливами.

Розроблено алгоритм обрання параметрів системи тягових електродвигунів та запропоновано алгоритм реалізації системи керування.

Виконаний аналіз економічної обґрунтованості виконаних рішень, який показав, що функціональна ціна розробки складає 19596,9 грн та, зрівнюючи з аналогами, ціна виробу є суттєво вигіднішою: в порівнянні з аналогом фірми powerMELA функціональна ціна розробки вигідніша на 22217,22 грн, в порівнянні з аналогом фірми ZAwheel – на 34517,22 грн., в порівнянні з аналогом фірми MotoCzysz – на 44317,22 грн.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Інтернет-джерело: Класифікація тягових класов тракторів.
<https://specmahina.ru/traktor/tyagovye-klassy.html>.
2. Справочник по охране труда на промышленном предприятии./ К.М.Ткачук – Киев: Техника, 1991. - 130 с.
3. Гонтаренко Г. М., Крижановская Н. Г. Формирование и измерение сигналов в импульсной технике: Учебное пособие для учащихся средних специальных заведений по специальности «Радиотехнические измерения». – М.: Издательство Стандартов, 1992. – 227 с.: ил.
4. Кенио Т, Нагамори С. Двигуни постійного струму з постійними магнітами. М.: Енергоатомиздат. 1989 р. - 184 с.
5. Murray A. Sensorless Motor Control Simplifies Washer Drives// Power Electronics Technology, June2006. – P.14-21.
6. Бражників А.В. Підвищення рівномірності обертання ротора четнофазного частотно-керованого електродвигуна // Збірник наукових праць «Підвищення ефективності роботи гірського встаткування при освоєнні родовищ корисних копалин». - Красноярськ: Видавництво ГАЦМиЗ, 1995. - С. 39-56.
7. Кочетков В.П., Бражников А.В., Дубровский І.Л. Теорія електропривода. - Красноярськ: Видавництво Крпн, 1991. - 140 с.
8. Протасенко О. Ф. Методичні рекомендації до виконання практичних завдань з навчальної дисципліни «Безпека життєдіяльності» для студентів усіх напрямів підготовки усіх форм навчання / О. Ф. Протасенко, Г. В. Мигаль. – Х. : Вид. ХНЕУ, 2011. – 124 с.
9. Михайлюк В. О. Цивільна безпека : навч. посібн. / В. О. Михайлюк, Б. Д. Халмурадов. – К. : Центр навч. л-ри, 2008. – 158 с.