

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 629.336.063

**АЛЬ-КИНАНИ**  
**Мухаммед Фадхил**

**ПОВЫШЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ КИНЕМАТИЧЕСКИХ  
И ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВАЛА ОТБОРА МОЩНОСТИ  
ТРАКТОРА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ ЕГО ПРИВОДА**

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

по специальности 05.05.03 – Колесные и гусеничные машины

Минск, 2013

Работа выполнена в Учреждении образования «Белорусский государственный аграрный технический университет».

Научный руководитель

**Бобровник Александр Иванович**, доктор технических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры «Тракторы» Белорусского национального технического университета

Официальные оппоненты:

**Харитончик Сергей Васильевич**, доктор технических наук, доцент, директор Республиканского компьютерного центра машиностроительного профиля ГНУ «Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси»;

**Мохов Сергей Петрович**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой лесных машин и технологии лесозаготовок Учреждения образования «Белорусского государственного технологического университета»

Оппонирующая организация

**Государственное учреждение «Белорусская МИС»**

Защита состоится «17» января 2014 г. в 14<sup>00</sup> часов на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.04 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, пр-т Независимости, 65, корп.1, ауд. 202, e-mail: chzdanovich@mail.ru, телефон ученого секретаря 8(017)292-83-85.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан «\_\_\_» декабря 2013 г.

Ученый секретарь  
совета по защите диссертаций,  
кандидат технических наук, доцент

Ч.И. Жданович

© Аль-Кинани М.Ф., 2013  
© Белорусский национальный  
технический университет, 2013

## ВВЕДЕНИЕ

В Республике Беларусь политика в сфере сельскохозяйственного производства направлена на создание крупнотоварных сельскохозяйственных предприятий с полным циклом получения и переработки сельскохозяйственной продукции. Для реализации этого направления предприятия оснащаются современными энергонасыщенными тракторами и сельскохозяйственной техникой, в том числе с приводом рабочих органов от вала отбора мощности трактора (ВОМ). Показатели качества выполнения технологического процесса сельскохозяйственных машин с активным приводом определяются и нормируются при постоянной частоте вращения вала отбора мощности трактора, соответствующей, при работе в независимом режиме, назначенной заводом-изготовителем постоянной частоте вращения коленчатого вала двигателя. Однако в условиях реальной эксплуатации для экономии топлива от 5 % до 15 % и повышения долговечности двигателя целесообразнее работать на частичных режимах в зависимости от конкретных условий. Так, при внесении органических удобрений с бункером, полностью заполненным технологическим материалом, двигатель загружен до номинальной мощности. В процессе внесения удобрений масса машины уменьшается, что дает возможность уменьшить подачу топлива при переключении скорости в коробке перемены передач без изменения агротехнически обоснованной технологической скорости движения, перейдя при этом на более экономичный режим работы двигателя. Но при существующей конструкции привода ВОМ это приведет к уменьшению частоты его вращения и изменению агротехнических показателей (дозы внесения удобрений, ширины захвата, равномерности распределения удобрений).

Поэтому работа по повышению стабильности кинематических и динамических характеристик независимого вала отбора мощности трактора, а следовательно и связанных с ним рабочих органов сельскохозяйственных машин, носит актуальный характер.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Связь работы с крупными научными программами**

Диссертационная работа выполнялась в рамках УО «БГАТУ» по следующим направлениям научно-технической деятельности: «Технологии и средства механизации производства, переработки и хранения сельскохозяйственной продукции», тема: «Разработка методов и средств повышения тягово-энергетических показателей и опорных свойств сельскохозяйственных мобильных энергосредств» и в соответствии с темой 54606 «Модернизация трансмиссий тракторов серий 1200/1500/2000 по заданиям 50-12 от 24.03.2012 и 8531 от 16.01.2013.

### **Цель и задачи исследования**

*Цель исследований* – повышение стабильности кинематических и динамических характеристик вала отбора мощности трактора совершенствованием его привода.

*Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:*

– сформулировать концепцию повышения стабильности кинематических и динамических характеристик независимого вала отбора мощности универсально-пропашного и общего назначения тракторов, основанную на анализе схем трансмиссий и приводов рабочего оборудования тракторов «БЕЛАРУС», а также эксплуатационных показателей машинно-тракторных агрегатов с активными рабочими органами при выполнении технологических операций;

– разработать математическую модель кинематики независимого заднего вала отбора мощности повышенной стабильности универсально-пропашного трактора «БЕЛАРУС» для определения передаточного числа гидравлического привода с учетом параметров тракторного двигателя и кинематической схемы вала отбора мощности, выявить специфические свойства двухпоточной объемной гидромеханической передачи как комбинации дифференциального механизма и механической передачи;

– получить аналитические зависимости параметров ступенчатого экономичного заднего вала отбора мощности трактора общего назначения «БЕЛАРУС» для определения времени разгона и величины буксования фрикционных муфт при различной степени перекрытия фрикционов, переводе работы двигателя на частичный режим, включении более высокой передачи в трансмиссии трактора с одновременным переключением фрикционных муфт вала отбора мощности;

– создать и испытать макетные образцы приводов валов отбора мощности повышенной стабильности трактора «БЕЛАРУС-1221» серийной комплектации с установленным объемным гидроприводом и экономичного двухступенчатого заднего вала отбора мощности трактора «БЕЛАРУС» класса 5,0 с переключаемыми гидравлически фрикционными муфтами;

– предложить схемы валов отбора мощности повышенной стабильности для колесного трактора класса 4,0 и гусеничного трактора «БЕЛАРУС-1503» с высокой степенью унификации узлов, а также привода потребителей гидравлической энергии трактора.

### **Объект и предмет исследования**

Объектом исследования является привод вала отбора мощности сельскохозяйственного универсально-пропашного трактора «БЕЛАРУС-1221», агрегируемого с сельскохозяйственными машинами с приводом рабочих органов от вала отбора мощности. Предметом исследований являются кинематические и динамические характеристики привода вала отбора мощности.

### **Положения, выносимые на защиту:**

– концепция разработки механических и гидравлических приводов отбора мощности повышенной стабильности универсально-пропашного и общего назначения тракторов «БЕЛАРУС», основанная на анализе эксплуатационных показателей машинно-тракторных агрегатов переменной массы с активными рабочими органами при выполнении технологических операций;

– математическая модель кинематики независимого вала отбора мощности повышенной стабильности универсально-пропашного трактора «БЕЛАРУС»

с механической трансмиссией для определения передаточного числа привода с учетом режимов работы тракторного двигателя, кинематической схемы вала отбора мощности серийной комплектации, специфических свойств двухпоточной объемной гидромеханической передачи;

– аналитические зависимости параметров ступенчатого экономичного заднего вала отбора мощности трактора общего назначения «БЕЛАРУС» для расчета параметров фрикционных муфт при различной степени перекрытия фрикционов с переводом работы двигателя на частичный режим и включением более высокой передачи в трансмиссии трактора;

– схемы независимых валов отбора мощности повышенной стабильности колесного трактора класса 4,0 и гусеничного трактора «БЕЛАРУС-1503» и привода потребителей гидравлической энергии трактора,

**что позволило:**

– разработать привод вала отбора мощности повышенной стабильности тракторов «БЕЛАРУС-1221» и «БЕЛАРУС-3522», обеспечить снижение удельного расхода топлива МТА в составе трактора «БЕЛАРУС-3522» с машиной для внесения твердых органических удобрений на 6 %...7 %.

**Личный вклад соискателя**

Диссертация является самостоятельной научно-исследовательской работой, основные результаты проведенных исследований получены автором лично и в соавторстве.

Автором на основании теоретических исследований разработаны кинематические схемы стабилизированного и экономичного привода вала отбора мощности тракторов «БЕЛАРУС» как со ступенчатым, так и с бесступенчатым регулированием частоты его вращения. Получены зависимости для расчета эффективного удельного расхода топлива при работе на частичных режимах двигателя. Разработана методика и проведены экспериментальные исследования, выполнена обработка экспериментальных исследований с использованием статистических методов.

Все научно-исследовательские работы, а также подготовка публикаций проводились лично и в соавторстве с научным руководителем Бобровником А.И.

Отдельные этапы работы выполнялись с Мухиным В.М., Рынкевичем С.А., Жданко Д.А., Дечко М.М., которым автор выражает благодарность.

**Апробация результатов диссертации**

Основные положения и результаты работы были доложены на 6-ти международных научно-практических конференциях: «Актуальные проблемы науки» – Тамбов, 2011 г.; «Энергоэффективность и экологическая безопасность на транспорте, в промышленности и в строительстве» – Гомель, БелГУТ, 2011 г.; «Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве» – Минск, РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2012 г.; «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности» – Могилев, Белор.-Росс.университет, 2012 г.; «Перспективные технологии и технические сред-

ства в сельскохозяйственном производстве» – Минск, УО «БГАТУ», 2013 г.; «Техника будущего: перспективы развития сельскохозяйственной техники» – Краснодар, 2013 г.; «Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве» – Минск, УО «БГАТУ», 2013г.

### **Опубликованность результатов диссертации**

Результаты выполненных исследований опубликованы в 23 научных работах: 7 статей в научных рецензируемых изданиях, 9 – в сборниках материалов научных конференций, 7 патентов на полезную модель. Общий объем опубликованных печатных работ – 3,3 печатных листа.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из перечня условных обозначений, введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, библиографического списка и приложений. Полный объем диссертации – 223 страницы; 69 иллюстраций; 7 таблиц; 10 приложений на 88 страницах, библиографический список в количестве 116 на 10 страницах.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Первая глава** «Проблема использования энергонасыщенных тракторов при агрегатировании машин с приводом рабочих органов от вала отбора мощности» посвящена анализу современных систем привода вала отбора мощности и коробок перемены передач трактора. Сформулированы преимущества и недостатки существующих конструкций, в том числе применяемых на тракторах марки «БЕЛАРУС».

Проведен анализ литературных источников по рассматриваемой проблематике.

Общие вопросы динамики мобильных машин при работе на различной загрузке двигателя, включая частичные, освещены в работах Г.М. Кутькова, В.Я. Аниловича, А.Е. Кочуры, П.А. Амельченко, В.П. Бойкова, В.В. Гуськова, А.И. Гришкевича, С.С. Дмитриченко, В.Н. Карташевича, М.С. Высоцкого, А.М. Сологуба, Г.О. Котиева, О.С. Руктешеля, С.В. Харитончика, И.С. Нагорского, А.Т. Скойбейды, В.М. Шарипова, Н.А. Щельцина и др.

Вопросам обоснования конструктивных параметров привода вала отбора мощности и оценки его динамической нагруженности посвящены работы В.П. Тарасика, П.А. Стецко, О.К. Довнара, О.Н. Протасени, В.Л. Николаенко, О.Л. Возненко, Б.А. Взорова, А.С. Солонского.

Динамические расчеты и исследования трансмиссий тракторов и автомобилей приведены в работах А.И. Гришкевича, О.С. Руктешеля и др.

Исследования работы двигателя на неустановившихся и переменных режимах проводили В.Н. Болтинский, А.А. Гольверк, Г.М. Кухаренок, Г.А. Вершина и др.

Вопросам надежности силовых агрегатов тракторов и автомобилей посвящены работы И.С. Цитовича, В.Б. Альгина и других ученых.

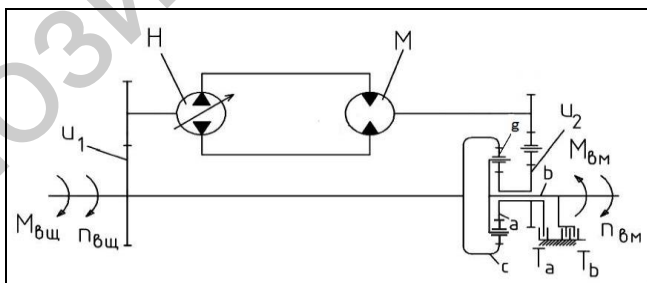
Однако в научной литературе отсутствуют исследования по обоснованию и выбору кинематических схем приводов валов отбора мощности со стабилизированной частотой вращения. Существующие алгоритмы выбора передаточного отношения коробки перемены передач не взаимосвязаны с расчетом удельного расхода топлива при переходе на частичные режимы работы и не учитывают конструктивные особенности предлагаемых в работе систем стабилизации частоты вращения вала отбора мощности.

Опыт эксплуатации в Республике Беларусь тракторных агрегатов, включающих сельскохозяйственные машины с приводом рабочих органов от вала отбора мощности, показывает, что отсутствие стабилизированного привода ухудшает энергетические и эксплуатационные показатели машинно-тракторных агрегатов.

**Во второй главе** «Привод вала отбора мощности повышенной стабильности» рассмотрена схема двухпоточного независимого вала отбора мощности повышенной стабильности, приведены аналитические выражения для определения кинематического передаточного числа, даны расчетные значения передаточных чисел планетарного ряда дифференциального механизма для обеспечения на выходе ВОМа 1000 и 540 об/мин.

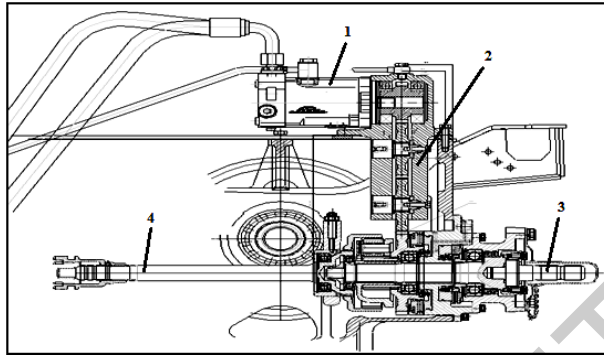
Двухпоточная передача заднего вала отбора мощности, разработанная для трактора «БЕЛАРУС-1221» (рисунок 1), состоит из дополнительной гидрообъемной передачи и дифференциального звена, установленного на валу отбора мощности трактора, выполненного в виде трехзвенного дифференциального механизма со смешанным зацеплением шестерен. При этом через гидрообъемную передачу передается только часть мощности двигателя, остальная же мощность передается через механическую передачу с высоким коэффициентом полезного действия.

Конструкция двухпоточного гидромеханического привода ВОМ приведена на рисунке 2.



$U_1, U_2$  – передаточные числа; Н – регулируемый гидронасос; М – нерегулируемый гидромотор;  $b$  – водило;  $c$  – эпициклическая шестерня;  $n_{вщ}$  – частота вращения ведущего вала;  $n_{вм}$  – частота вращения ведомого вала;  $M_{вм}$  и  $M_{вщ}$  – крутящие моменты соответственно на ведомом и ведущем валах

**Рисунок 1 – Схема двухпоточного независимого вала отбора мощности повышенной стабильности**



1 – гидромотор; 2 – зубчатая передача; 3 – хвостовик ВОМа; 4 – ведущий вал механической передачи

**Рисунок 2 – Конструкция двухпоточного гидромеханического привода вала отбора мощности**

Первый поток мощности передается через эпициклическую шестерню *c* на сателлиты и далее на водило *b*. Здесь существуют только механические потери мощности.

Второй поток мощности передается через редуктор с передаточным числом  $U_1$ , на регулируемый гидронасос *H*, далее на нерегулируемый гидромотор *M* и через редуктор *c* с передаточным числом  $U_2$  на солнечную шестерню *a* и через сателлиты *g* на водило *b*. Здесь мощность теряется в двух редукторах с передаточными числами  $U_1$  и  $U_2$  и в гидрообъемной передаче, состоящей из гидронасоса и гидромотора.

Таким образом, на водиле *b* суммируется два потока мощности, которые далее передаются на хвостовик независимого вала отбора мощности.

Получено аналитическое выражение для расчета КПД двухпоточной гидрообъемной механической передачи (ГОМП):

$$\eta_{\text{ГОМП}} = \frac{\eta_1 \eta_2 \hat{U}_{\text{ГОП}} (1 + KU_1 U_2 U_{\text{ГОП}})}{U_{\text{ГОП}} (1 + KU_1 \eta_1 U_2 \eta_2 \hat{U}_{\text{ГОП}})},$$

где  $\eta_1$  – КПД редуктора с передаточным числом  $U_1$ ;

$\eta_2$  – КПД редуктора с передаточным числом  $U_2$ ;

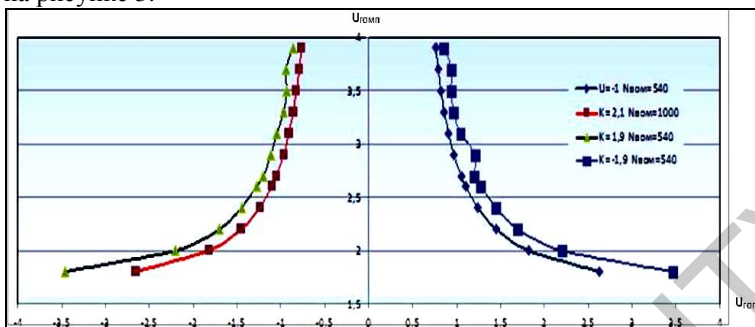
$\hat{U}_{\text{ГОП}}$  и  $U_{\text{ГОП}}$  – силовое и кинематическое передаточные числа гидрообъемной передачи (гоп);

$K$  – характеристика планетарного ряда.

Определим значение кинематического передаточного числа гидравлической передачи для заданной двухпоточной передачи с параметрами тракторного двигателя и вала отбора мощности для трактора класса 2,0.



Расчетные значения  $U_{\text{гомп}}$  и  $U_{\text{гоп}}$  при  $K=1,9$ ;  $U_1=1$ ;  $U_2=1$ ;  $n_{\text{вoм}}=540$  об/мин приведены на рисунке 3.



**Рисунок 3 – График зависимости передаточного числа гидрообъемной передачи для получения требуемого передаточного числа двухпоточной передачи при номинальной частоте вращения ВОМ 540 об/мин**

Таким образом, наибольшие значения передаточного числа гидрообъемной передачи в диапазоне от 1900 до 1500 об/мин и от 1500 до 1300 об/мин наблюдаются при переходе работы гидрообъемной передачи на реверсивный режим  $U_{\text{гоп}}=\infty$ .

По предложенной схеме разработана конструкция двухпоточного независимого вала отбора мощности трактора «БЕЛАРУС-1221» и изготовлен опытный образец на ПО «МТЗ» (рисунок 4).



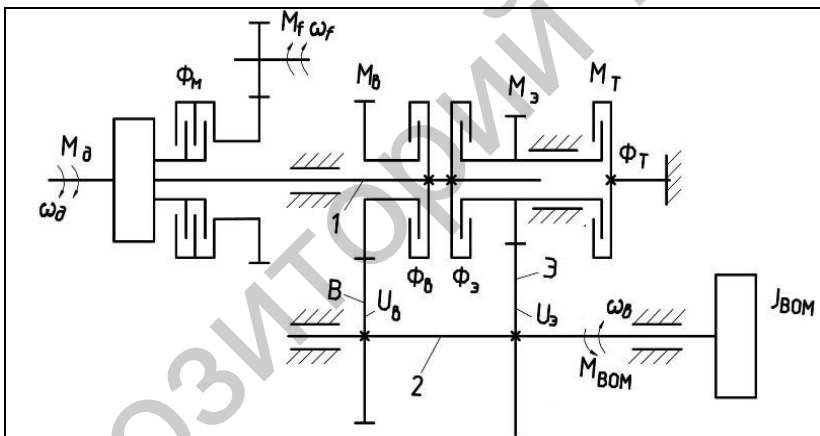
1 – трансмиссия трактора «БЕЛАРУС-1221»; 2 – насос НШ 32М-3; 3 – манометр; 4 – бак с рабочей жидкостью; 5 – шестеренный расходомер с датчиком расхода, давления и температуры; 6 – гидромотор фирмы Linde модели НМФ36-02; 7 – хвостовик заднего ВОМ

**Рисунок 4 – Двухпоточная передача заднего вала отбора мощности повышенной стабильности, разработанная для трактора «БЕЛАРУС-1221» на ПО «МТЗ»**

**В третьей главе** «Двухскоростной привод заднего вала отбора мощности трактора «БЕЛАРУС» для обеспечения перехода на экономичные режимы работы двигателя без разрыва потока мощности в конструкции трактора «БЕЛАРУС» класса 5,0 предлагается механическое переключение режимов работы экономичного ВОМ заменить на переключение с помощью фрикционных муфт (ФМ) с гидropоджатием.

Известно, что перекрытие передачи при переключении под нагрузкой муфт осуществляется с кратковременным разрывом и без разрыва потока мощности, передаваемого от двигателя. При одновременной работе двух передач в течение короткого отрезка времени перекрытия передач происходит безразрывное переключение передач, параметры которого зависят от характеристики машинно-тракторного агрегата и условий его эксплуатации.

Процесс переключения с высшей передачи на экономичную рассмотрим на примере схемы привода редуктора ВОМ с двумя параллельными валами (рисунок 5). Процесс переключения рассмотрен с учетом затрат мощности на сопротивление перекачиванию трактора и сопротивление технологической машины через ВОМ.



1, 2 – ведущий и ведомый валы ВОМ;  $\Phi_6$  и  $\Phi_3$  – фрикционные передачи высшей и экономичной передач;  $M_d$  и  $\omega_d$  – крутящий момент и угловая скорость вала двигателя, приведенные к валу включаемой ФМ;  $I_d$  – момент инерции движущихся частей двигателя и связанных с ними деталей, приведенный к валу включаемой ФМ;  $\omega_n$  – угловая скорость ведомого вала;  $u_6$  и  $u_3$  – передаточные числа;  $\Phi_m$  – фрикционная передача главной муфты сцепления;  $M_f \omega_f$  – момент сопротивления и угловая скорость при перекачивании трактора;  $M_6$  и  $M_3$  – момент на высшей и экономичной передачах;  $M_T$  – момент трения фрикцион тормоза  $\Phi_T$ ; В и Э – высшая и экономичная передачи;  $M_{\omega_BOM}$  и  $\omega_{BOM}$  – момент сопротивления рабочего оборудования и угловая скорость вала отбора мощности

**Рисунок 5** – Двухмассовая динамическая система

Важнейшие параметры привода – работа  $L$  буксования фрикционной муфты, время буксования  $t_6$  включения экономичного режима, время разгона на заданном режиме.

Для их определения используем теоретическую диаграмму разгона (рисунок б).

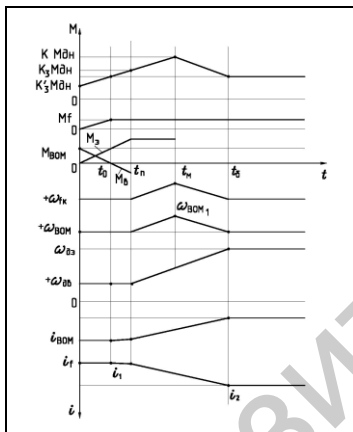
В начальный момент времени  $t_0$ :

$$M_0 = M_e + M_f = M_{ВОМ} + M_f,$$

где  $M_0$  – крутящий момент на коленчатом валу двигателя;  $M_e$  – момент на высшей передаче;  $M_f$  – момент сопротивления перекачиванию трактора;  $M_{ВОМ}$  – момент сопротивления рабочего оборудования на независимом валу отбора мощности, приведенный к валу фрикциона.

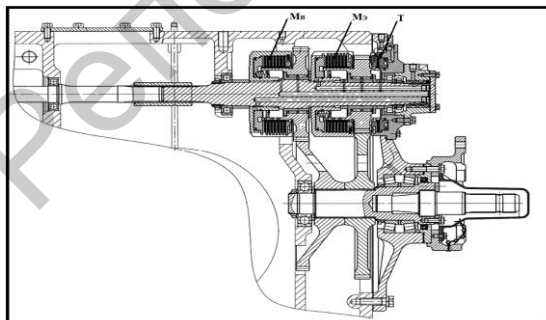
В интервале времени  $t_0 - t_m$ , к концу которого заканчивается включение фрикционов, принимаем, что  $M_0$  изменяется также пропорционально текущему времени буксования, достигая величины  $k M_{0н}$ ;  $t_m$  – время включения фрикционной муфты.

В диссертационной работе приведены уравнения движения агрегата для различных периодов переключения муфт в соответствии с диаграммой разгона.



$M_{0н}$  – номинальный крутящий момент;  $k, k_3, k'_3$  – коэффициенты загрузки двигателя;  $t_0$  – время буксования ФМ;  $t_p$  – время разгона ТА;  $t_n$  – время перекрытия;  $t_m$  – время включения фрикционной муфты;  $M_{ВОМ}$  и  $\omega_{ВОМ}$  – момент сопротивления рабочего оборудования и угловая скорость вала отбора мощности;  $M_e$  и  $M_3$  – момент на высшей и экономической передачах;  $\omega_{дв}$  и  $\omega_{дэ}$  – угловые скорости на высшей и экономической передачах;  $t_n$  – время перекрытия передачи;  $t_m$  – время включения фрикционной муфты;  $t_0$  – время буксования при включении экономического режима;  $i$  – передаточное число;  $i_1$  и  $i_2$  – передаточные числа высшей и экономической передач;  $i_{ВОМ}$  – передаточное число вала отбора мощности

Рисунок 6 – Теоретическая диаграмма разгона



$M_э$  – фрикционная муфта экономической ступени;  
 $M_в$  – фрикционная муфта высшей ступени;  
 $\Gamma$  – тормоз

Рисунок 7 – Конструкция ВОМ с двумя муфтами трактора «БЕЛАРУС-3522»

По предложенной схеме разработана конструкция двухскоростного независимого вала отбора мощности трактора «БЕЛАРУС-3522», опытный образец изготовлен и проходил испытания на испытательном центре ПО «МТЗ» (рисунок 8).



1 – машина балансирующая мощностью 280 кВт; 2 – комплексная электронная система управления (КЭСУ); 3 – корпус заднего моста 3028-2401015 с испытуемым задним ВОМ; 4, 6 – передачи карданные; 5 – датчик вращающего момента; 7 – нагрузитель (массы маховые)

**Рисунок 8 – Стенд испытаний двухскоростного заднего ВОМ с двумя муфтами трактора «БЕЛАРУС-3522»**

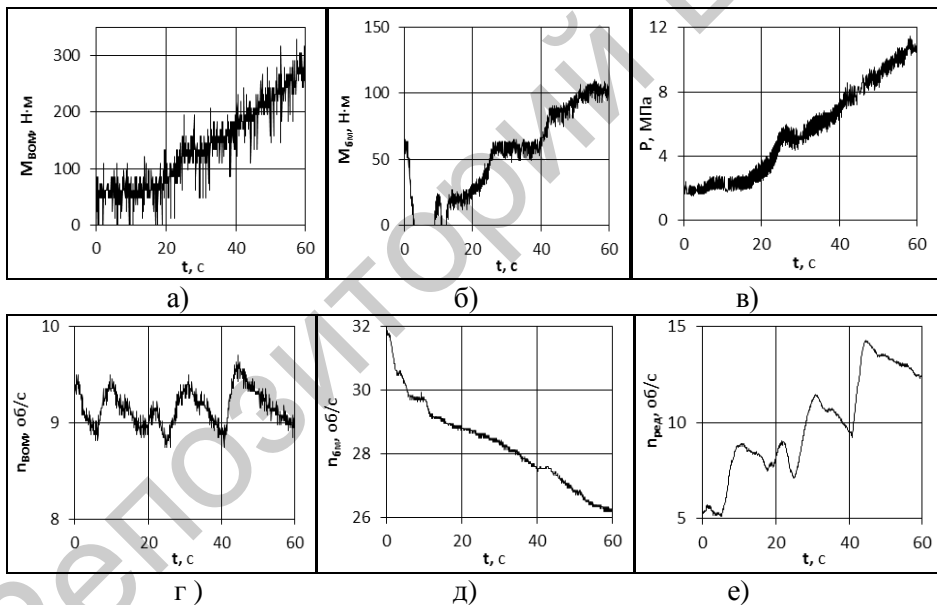
**В четвертой главе** «Программа, методика и анализ экспериментальных исследований» изложена программа и методика исследований вала отбора мощности с гидромеханическим приводом постоянной частоты вращения, ее режим, производившиеся настройки измеряемых величин, описаны измерительная аппаратура и оборудование, используемое при исследованиях, выполнен расчет погрешности измерений.

Экспериментальные исследования проводились в аккредитованном ИЦ «Трактор» РУП «МТЗ». Экспериментальный испытательный стенд создан на базе заднего независимого ВОМ трактора с редуктором 1220-4204005 и экспериментальным планетарным регулируемым двухпоточным приводом в составе трансмиссии трактора «БЕЛАРУС-1221». В экспериментах, проведенных в различных условиях нагружения хвостовика ВОМ с помощью балансирующей машины, частоту вращения хвостовика ВОМ (вала тормоза  $n_{вт}$ ) стремились поддерживать постоянной с помощью гидромотора, передающего дополнительный вращающий момент через планетарный редуктор.

С помощью компьютерной программы STATISTICA рассчитаны взаимные корреляционные функции колебания частот вращения редуктора и ВОМ и их спектрограммы. Статистическая оценка спектра колебаний частот вращения

ВОМ и редуктора показывают их тесную взаимозависимость: спектры полностью совпадают по периодам и фазам основных колебательных процессов.

На рисунке 9 представлены графики динамических параметров привода в условиях переменного нагружения и уменьшения частоты вращения вала балансирующей машины. В эксперименте с помощью гидротормоза повышался момент сопротивления вращению на ВОМе (рисунок 9а). Одновременно увеличивалось давление в гидромоторе (рисунок 9в). С помощью ручного управления не удается получить равномерное нагружение и синхронную компенсацию колебаний тормозящей нагрузки с помощью повышения давления в гидромоторе, поэтому кривые на графиках показывают всплески в окрестности 25 с (рисунки 9а-в). Изменение условий нагружения отражается на значениях кинематических параметров привода. Как видно на рисунке 9г, частота вращения ВОМ не имеет очевидного линейного тренда, несмотря на падение частоты вращения приводного вала балансирующей машины (рисунок 9д). Падение частоты вращения вала балансирующей машины компенсируется возрастанием частоты вращения редуктора, приводимого в движение гидромотором (рисунок 9е).



**Рисунок 9 – Кинематические и динамические параметры привода на переходном режиме**

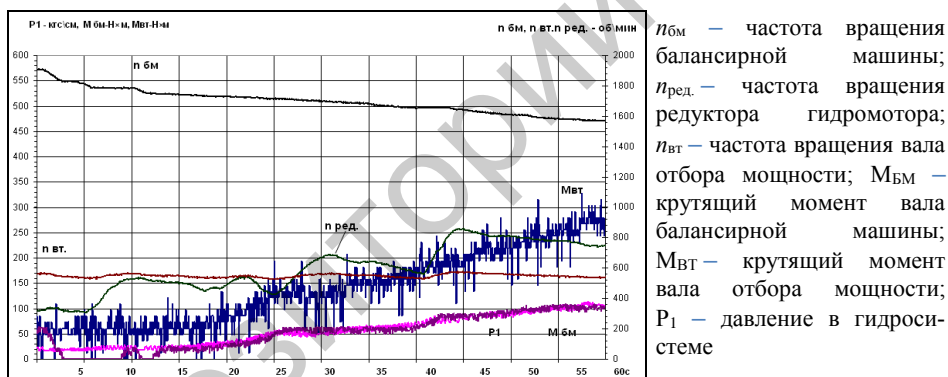
Расчитанные взаимные корреляционные функции колебания частот вращения редуктора и ВОМ показывают, что максимальное значение коэффициента корреляции наблюдается при нулевом лаге (смещении) двух этих процессов по времени, что указывает на мгновенную реакцию частоты вращения ВОМ, при из-

менении частоты вращения редуктора, что обусловлено конструкцией планетарного редуктора.

Расчитанные спектрограммы частоты вращения ВОМ и редуктора выявили максимумы амплитуд в спектре колебаний с периодом 20 с. Это позволяет выдвинуть предположение, что привод имеет собственную резонансную частоту колебаний 1/20 Гц, причину которых следует искать в конструктивных параметрах привода с целью поиска способа демпфирования этой резонансной частоты.

Спектры колебательных процессов для режимов работы привода с убывающей или постоянной скоростью вращения вала балансирующей машины отличаются: максимальные амплитуды в первом случае имеют отрицательную косинусную составляющую, а во втором – положительную и синусную и косинусную составляющие.

Еще одним отличием режима с постоянной скоростью вращения вала балансирующей машины является то, что он вызывает значительное уменьшение амплитуды колебаний с периодом 30 с и возрастание амплитуд более высокочастотных колебаний с периодом 7 – 15 с. Последнее, как показал анализ спектра колебаний давления в гидросистеме, вызвано его колебаниями, наблюдавшимися в этом опыте, что подтверждают результаты измерения рабочих параметров привода вала отбора мощности (рисунок 10).



**Рисунок 10 – Результаты измерений рабочих параметров привода вала отбора мощности трактора «БЕЛАРУС-1221» при изменении частоты вращения вала балансирующей машины в диапазоне от 1900 до 1500 об/мин**

Проведены испытания двухскоростного заднего вала отбора мощности трактора «БЕЛАРУС-3522». Работоспособность вала отбора мощности оценивалась по его способности передавать крутящий момент во включенном состоянии каждой из ступеней, то есть осуществлять разгон маховых масс стенда, имитирующих маховые массы рабочих органов сельскохозяйственных машин (момент инерции 18,0 – 18,5 кг·м<sup>2</sup>), и обеспечить их остановку при включении тормоза, сохраняя при этом фрикционные и промежуточные диски фрикционных муфт и тормоза в работоспособном состоянии.

Графики с процессами включений муфт и тормоза ВОМ трактора «БЕЛАРУС-3522» на стенде для различных режимов нагружения приведены на рисунках 11–13.

Утечки по уплотнительным кольцам муфт и тормоза при температуре 25 °С и давлении 1,4 МПа составляли 0,7...1,0 л/мин. Расход масла на смазку и охлаждение дисков муфт и тормоза при давлении 0,22 МПа составлял 5,6 л/мин. Пиковые значения крутящего момента на хвостовике ВОМ при давлении в системе управления 0,7 и 1,4 МПа достигали соответственно 4000 и 5600 Н·м. При включении муфт экономичной и высшей ступеней ВОМ с использованием комплекса электронной системы управления пиковые значения вращающегося момента на хвостовике достигали соответственно 2300 и 1800 Н·м.

Цикловая работа трения, поглощаемая фрикционным диском тормоза при испытаниях фрикционных муфт экономичной и высшей ступеней, была в пределах соответственно 52...53 кДж и 99...100 кДж. Фрикционная муфта экономичной ступени ВОМ, отработавшая в полном объеме 500 циклов включения муфты и тормоза сохранила после испытаний свою работоспособность. Температура масла после непрерывной пятичасовой работы стенда составляла 70 °С.

Обозначения, используемые на графиках:

$p_T$  – давление масла в канале управления тормозом ВОМ, МПа;

$p_1$  – давление масла в канале управления муфтой экономичной ступени ВОМ, МПа;

$p_2$  – давление масла в канале управления муфтой высшей ступени ВОМ, МПа;

$M_{\text{ВОМ}}$  – крутящий момент на хвостовике ВОМ, кН·м;

$n_{\text{хв}}$ ,  $n_{\text{б.м}}$  – частоты вращения соответственно хвостовика ВОМ и вала балансирной машины, об/мин.

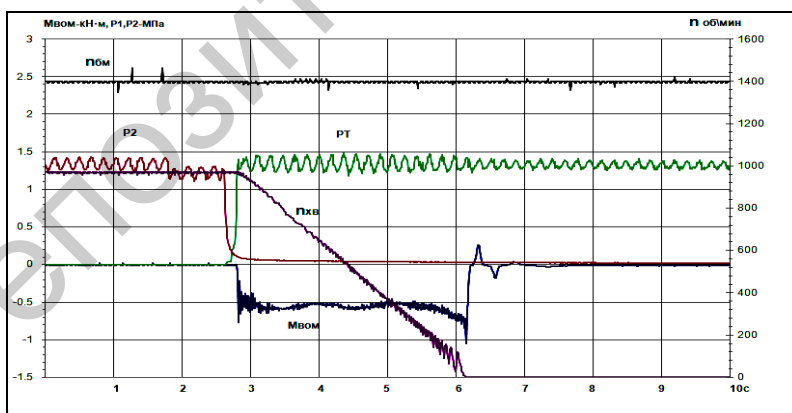


Рисунок 11 – Процесс включения тормоза ВОМ трактора «БЕЛАРУС-3522» при частоте вращения входного вала 1400 об/мин с включенной высшей ступенью и давлении в системе управления 1,4 МПа

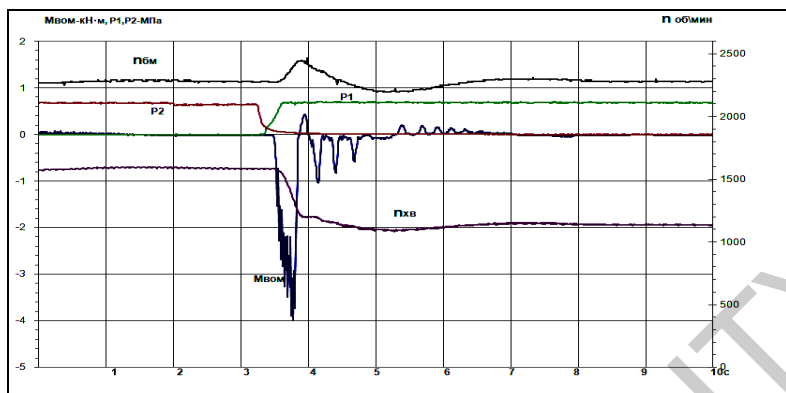


Рисунок 12 – Процесс переключения муфт высшей ступени ВОМ трактора «БЕЛАРУС-3522» на экономичную при частоте вращения входного вала 2300 об/мин и давлении в системе управления 0,7 МПа

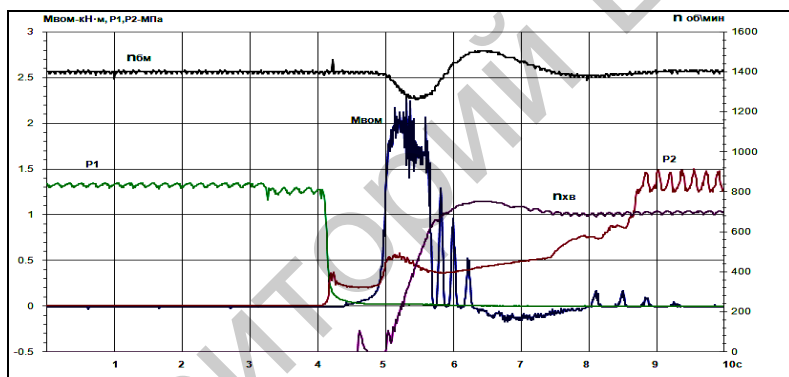


Рисунок 13 – Процесс включения муфты экономичной ступени ВОМ трактора «БЕЛАРУС-3522» при частоте вращения входного вала 1400 об/мин и давлении в системе управления 1,4 МПа с использованием комплекса электронной системы управления

В пятой главе «Анализ экономической эффективности» приведено обоснование экономической эффективности использования трактора с приводом вала отбора мощности повышенной стабильности на примере трактора «БЕЛАРУС-3522» в агрегате с полуприцепом ПМФ–20, оборудованным сменным адаптером для внесения твердых органических удобрений.

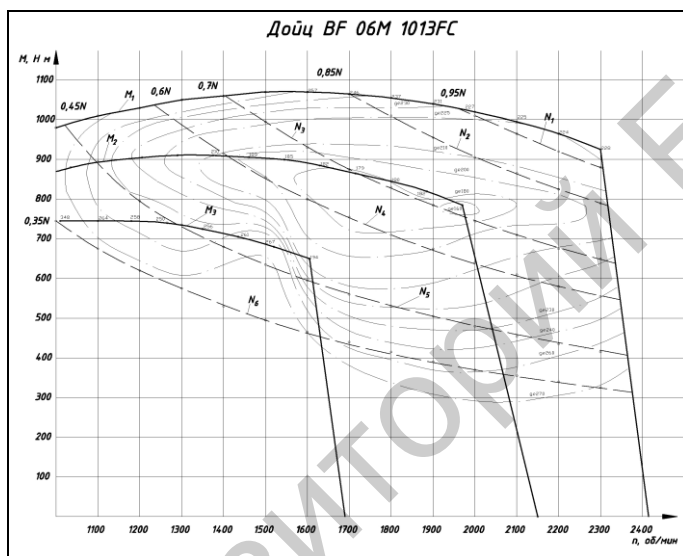
Получено, что производительность за час эксплуатационного времени составит с ВОМ повышенной стабильности 4,6 га, с серийным ВОМ – 4,3 га, а удельный расход топлива соответственно 5,8 кг/га и 6,2 кг/га.

За счет снижения удельного расхода топлива на единицу физической наработки можно снизить себестоимость механизированных работ по внесению



органических удобрений на 8,724 млн. руб. в год и получить приведенный экономический эффект на одной технологической операции 14,797 млн. руб. в год.

Для оценки топливной экономичности агрегатов при неполной загрузке двигателя трактора нами получены совместно с ПО «МТЗ» экспериментальные скоростные характеристики частичных режимах работы двигателей Д 260.7, Deutz BF 06M 1013FC, Detroit S40E-8.7LTA, устанавливаемых на трактора «БЕЛАРУС» класса 5,0. На рисунке 14 приведена скоростная характеристика двигателя Deutz BF 06M 1013FC, который имеет наименьший расход топлива при частоте вращения коленчатого вала 1800 об/мин и 70 %-ной загрузке двигателя. Двигатель Detroit S40E-8.7LTA имеет наименьший расход топлива при частоте вращения коленчатого вала 1540 об/мин и загрузке 95 %.



$N_1, N_2, N_3, N_4, N_5$  – мощности на частичных режимах;  
 $M_1, M_2, M_3$  – крутящий момент на частичных режимах

**Рисунок 14 – Скоростная характеристика двигателя BF06M1013FC фирмы Deutz (Германия) на частичных режимах, устанавливаемого на трактор «БЕЛАРУС» класса 5,0**

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации:

1. Сформулирована концепция повышения стабильности кинематических и динамических характеристик заднего независимого вала отбора мощности тракторов «БЕЛАРУС» классов 1,4 – 5,0 при сохранении технологической скорости агрегата, позволяющая снизить расход топлива, повысить качество технологического процесса и долговечность работы тракторного двигателя [1, 2, 4, 8, 13, 14, 18, 19, 20].

2. Предложена математическая модель кинематики двухпоточного вала отбора мощности повышенной стабильности для определения передаточного

числа гидрообъемной передачи привода с учетом параметров тракторного двигателя и кинематической схемы серийного вала отбора мощности универсально-пропашного колесного трактора. Выявлены специфические свойства объемной гидромеханической передачи как комбинации дифференциального механизма, механической передачи трансмиссии и конструкции двигателя [5].

3. Экспериментально-теоретическими исследованиями кинематических и динамических характеристик экспериментального привода вала отбора мощности трактора класса 2,0, управляемого гидравлической системой с реверсивным гидромотором постоянной производительности фирмы Linde модели НМF36-02 и ручным управлением гидромотором, установлено, что изменение режимов нагружений водяным тормозом DT 2100-1eHORIВА отражается на значениях его параметров, но при этом частота вращения ВОМ не имеет линейного тренда при снижении частоты вращения ведущего вала балансирной машины. Рассчитанные взаимные корреляционные функции колебаний вращения валов редуктора и ВОМа показывают их тесную взаимозависимость; спектры полностью совпадают по периодам и фазам основных колебательных процессов экспериментальных исследований [5, 7, 15].

4. Предложена математическая модель расчета кинематики экономичного двухступенчатого заднего вала отбора мощности трактора общего назначения для определения работы буксования переключаемых фрикционных муфт, времени разгона и буксования муфт и тормоза при переключении передач ВОМа с различной степенью перекрытия фрикционов [6, 16].

5. Даны рекомендации по выбору кинематических характеристик двухпоточного заднего вала отбора мощности повышенной стабильности для трактора «БЕЛАРУС-1221» класса 2,0 серийной комплектации, где предложено установить параллельно кинематической механической цепи вала отбора мощности трактора объемный гидропривод, передающий только часть мощности с последующим ее суммированием зубчатым дифференциалом, а также экономичного двухступенчатого заднего вала отбора мощности трактора «БЕЛАРУС» класса 5,0 с переключаемыми гидравлическими фрикционными муфтами и тормозом; предложены: схема трехступенчатого вала отбора мощности на базе планетарного ряда со смешанным зацеплением для трактора класса 1,4, схема двухступенчатого переключаемого под нагрузкой редуктора вала отбора мощности корпуса муфты сцепления трактора класса 4,0 и схема вала отбора мощности гусеничного трактора «БЕЛАРУС-1503» с высокой степенью унификации узлов гидравлической системы и рулевого управления. Для функционирования узлов потребителей гидравлической энергии трактора при эксплуатации на различных режимах двигателя предложено оборудовать его системой повышенной стабильности [5, 9, 11, 12, 13, 16, 17, 20, 21, 22, 23].

6. Переход на частичный режим работы двигателя трактора «БЕЛАРУС» класса 5,0 с установленным двухступенчатым задним валом отбора мощности с переключением фрикционов под нагрузкой при переходе на экономичный режим позволяет агрегату переменной массы (трактор «БЕЛАРУС-3522» + полуприцеп ПМФ-20) на внесении органических удобрений экономить топливо до 8 %, повы-

свить долговечность двигателя, снизить шум агрегата, повысить безопасность работ [3, 4, 9, 10, 12].

Новизна технических решений подтверждена 7 патентами Республики Беларусь. Ожидаемый экономический эффект от использования результатов исследований трактора «БЕЛАРУС» класса 5,0 и полуприцепа ПМФ-20 составит 14,797 млн. руб. в год на один трактор за счет повышения производительности труда и экономии топлива [4, 11, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23].

### **Рекомендации по практическому использованию**

Акт, утвержденный Генеральным конструктором ПО «МТЗ» – директором НТЦ РУП «МТЗ» Стасилевичем А.Г., подтверждает, что УКЭР-1 используются в практике проектирования тракторов результаты исследований Аль-Кинани Мухаммеда Фадхила, приведенные в диссертационной работе на соискание ученой степени кандидата технических наук.

1. Рекомендации по повышению топливной экономичности в условиях эксплуатации машинно-тракторных агрегатов с приводом от независимого вала отбора мощности переводом скоростного режима двигателя с внешней ветви на частичный режим и повышением загрузки двигателя на пониженных скоростных режимах двигателя с одновременным включением более высокой передачи трансмиссии и совершенствованием систем отбора мощности мобильных машин путем повышения стабильности характеристик механического и гидравлического отборов мощности.

2. Предложения по конструкции привода вала отбора мощности повышенной стабильности трактора «БЕЛАРУС-1221» серийной комплектации, заключающиеся в установке параллельно кинематической механической цепи вала отбора мощности трактора объемного гидропривода, передающего только часть мощности с последующим ее суммированием зубчатым дифференциалом. Макетный образец разработан по заданию № 50–12 от 24.03.2012., протокол заводских испытаний № 15874/Б от 05.03.2013.

3. Математическая модель кинематики двухпоточного стабилизированного вала отбора мощности трактора для определения передаточного числа гидрообъемной передачи привода с учетом параметров тракторного двигателя и кинематической схемы вала отбора мощности универсального колесного трактора, позволяющая выявить специфические свойства объемной гидромеханической передачи как комбинации дифференциального механизма, механической передачи трансмиссии и скоростной характеристики двигателя.

4. Экспериментально-теоретические исследования стабильности кинематических и динамических параметров экспериментального привода вала отбора мощности трактора класса 2,0, управляемого гидравлической системой с реверсивным гидромотором постоянной производительности фирмы Linde модели НМF36-02 и нагружаемого водяным тормозом DT 2100-leHORIZA.

5. Конструкторская документация экономичного двухступенчатого заднего вала отбора мощности трактора «БЕЛАРУС» класса 5,0 с переключаемыми

гидравлически фрикционными муфтами. Макетный образец разработан по заданию № 163-2012, протокол заводских испытаний № 15964/Б от 18.06.2013.

6. Математическая модель расчета параметров экономичного двухступенчатого заднего вала отбора мощности трактора для определения работы буксования переключаемых фрикционных муфт, времени разгона и буксования муфт при переключении передач ВОМ с различной степенью перекрытия фрикционных.

7. Схемы трехступенчатого вала отбора мощности на базе планетарного ряда со смешанным зацеплением для трактора класса 1,4, двухступенчатого переключаемого под нагрузкой редуктора, установленного в корпусе муфты сцепления трактора класса 4,0, стабилизированного привода потребителей гидравлической энергии трактора и стабилизированного привода вала отбора мощности гусеничного трактора «БЕЛАРУС-1503» с высокой степенью унификации узлов с рулевым управлением на основании чего, в условиях эксплуатации позволит повысить топливную экономичность агрегатов, качество технологического процесса, долговечность работы тракторного двигателя, улучшить безопасность выполняемых работ.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

### *Статьи в журналах*

1. Бобровник, А.И. К вопросу повышения технологических свойств тракторов «БЕЛАРУС» энергетической концепции / А.И. Бобровник, В.М. Мухин, М.Ф. Аль-Кинани. // Агропанорама. – 2012. – № 3. – С. 11–15.

2. Кравченко, О.П. Методика визначення запасу ресурсу тракторного дизеля за рахунокнавантажного та швидкісного режимів експлуатації / О.П. Кравченко, О.С. Ноженко, Г.А. Вершина, О.Ю. Пілатов, М.Ф. Аль-Кинани // ВІСНИКСевНТУ. – 2012. – № 135. – С. 192–196.

3. Аль-Кинани, М.Ф. Повышение технологических свойств тракторов «БЕЛАРУС» с отбором мощности через ВОМ / М.Ф. Аль-Кинани, А.И. Бобровник // Известия Международной академии аграрного образования, Санкт-Петербург – 2013. – № 16. – С. 37.

4. Бобровник, А.И. Повышение топливной экономичности агрегатов с приводом от вала отбора мощности трактора «БЕЛАРУС» / А.И. Бобровник, Д.А. Жданко, М.Ф. Аль-Кинани // Агропанорама – 2013. – № 2. – С. 5–7.

5. Бобровник, А.И. Кинематика двухплатформенного независимого вала отбора мощности трактора / А.И. Бобровник, М.Ф. Аль-Кинани // Агропанорама – 2013. – № 3. – С. 12–16.

6. Бобровник, А.И. Переключение передачи на экономичный режим независимого вала отбора мощности / А.И. Бобровник, С.А. Рынкевич, М.Ф. Аль-Кинани. // Вестник Белорусско-Российского университета – 2013. – № 3. – С. 6–12.

7. Бобровник, А.И. Исследование стабильности ВОМ двухпоточного привода с планетарным регулируемым редуктором / А.И. Бобровник, М.М. Дечко, М.Ф. Аль-Кинани // Вестник Белорусской Государственной Сельскохозяйственной академии – 2013. – № 3. – С. 137–143.

## *Материалы конференций*

8. Бобровник, И.И. Повышение эксплуатационных качеств трактора «БЕЛАРУС» совершенствованием привода вала отбора мощности / А.И. Бобровник, М.Ф. Аль-Кинани, В.В. Михалков, А.И. Двибородчин // Актуальные проблемы науки: материалы междунар. науч.-практ. конф., Тамбов, 30 мая 2011 г.: в 4 ч. / М-во обр. и науки РФ, Тамбов: Изд-во ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2011. – Ч. 3. – С. 25–26.

9. Бобровник, А.И. Энергоэффективность трактора с электромеханической трансмиссией / А.И. Бобровник, М.Ф. Аль-Кинани, А.М. Войтеховский // Энергоэффективность и экологическая безопасность на транспорте, в промышленности и в строительстве: материалы междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 15–16 декабря 2011 г. / БелГУТ, 2011. – С. 26–28.

10. Бобровник, А.И. Энергоэффективность тракторных двигателей / А.И. Бобровник, М.Ф. Аль-Кинани // Энергоэффективность и экологическая безопасность на транспорте, в промышленности и в строительстве: материалы междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 15–16 декабря 2011 г. / БелГУТ, 2011. – С. 29–31.

11. Бобровник, А.И. Повышение топливной экономичности агрегатов с приводов от вала отбора мощности трактора «БЕЛАРУС» / А.И. Бобровник, Д.А. Жданко, М.Ф. Аль-Кинани // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы междунар. науч.-техн. конф., Минск, 10–11 октября 2012 г.: РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства», 2012. – С. 215–221.

12. Аль-Кинани, М.Ф. Современное состояние и тенденции развития мирового опыта создания и использования в тракторном и сельскохозяйственном машиностроении валов отбора мощности / М.Ф. Аль-Кинани // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы междунар. науч.-техн. конф. молод. ученых., Могилев, 30–31 октября 2012 г.: Беларус.-Рос. ун-т, 2012. – С. 93.

13. Бобровник, А.И. Повышение технологических свойств тракторов «БЕЛАРУС» с отбором мощности через ВОМ / А.И. Бобровник, М.Ф. Аль-Кинани // Перспективные технологии и технические средства в сельскохозяйственном производстве: материалы междунар. науч.-техн. конф., Минск, 11–12 апреля 2013 г.: БГАТУ, 2013. – С. 84.

14. Аль-Кинани, М.Ф. Повышение технологических свойств тракторов «БЕЛАРУС» энергетической концепции / М.Ф. Аль-Кинани // материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 18–19 апреля 2013 г.: Беларус.-Рос. ун-т, 2013. – С. 4.

15. Бобровник, А.И. Двухпоточный независимый задний ВОМ трактора «БЕЛАРУС» / А.И. Бобровник, М.Ф. Аль-Кинани // Техника будущего: перспективы развития сельскохозяйственной техники: материалы междунар. науч.-техн. конф., Краснодар, 15–16 мая 2013 г.: Кубанский государственный технический университет, 2013. – С. 191–193.

16. Бобровник, А.И. Анализ потерь энергии при переключении вала отбора мощности / А.И. Бобровник, М.М. Дечко, М.Ф. Аль-Кинани // Научно-

технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 28-30 ноября 2013 г.: УО «БГАТУ», 2013. – С. 82–85.

### **Патенты**

17. Гидравлическая навесная система универсально-пропашного трактора: пат. 8063 Респ. Беларусь, МПК А01В 63/10 / А.И. Бобровник, В.Е.Борейшо, А.И. Двибородчин, М.Ф. Аль-Кинани; заявитель УО «БГАТУ». – № и 20110492; заявл. 17.06.2011; опубл. 30.04.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 2 – С. 191.

18. Привод вала отбора мощности универсально-пропашного трактора: пат. 8240 Респ. Беларусь, МПК В 60К 17/28 / А.И. Бобровник, А.Д. Кузнецов, О.И. Жичко, В.А. Бульбенков, М.Ф. Аль-Кинани; заявитель УО «БГАТУ». – № и 20110874; заявл. 08.11.2011; опубл. 30.06.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 3 – С. 232.

19. Вал отбора мощности универсально-пропашного трактора: пат. 8561 Респ. Беларусь, МПК В 60К 17/28 / А.И. Бобровник, А.Г. Стасилевич, О.И. Жичко, В.А. Бульбенков, М.Ф. Аль-Кинани, А.И. Двибородчин; заявитель УО «БГАТУ» – № и 20120202; заявл. 28.02.2012; опубл. 30.10.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 5 – С. 201.

20. Вал отбора мощности универсально-пропашного трактора: пат. 8633 Респ. Беларусь, МПК В 60К 17/28 / А.И. Бобровник, В.М. Мухин, В.Г. Сапельников, М.Ф. Аль-Кинани; заявитель УО «БГАТУ» – № и 20120302; заявл. 23.03.2012. опубл. 30.10.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 5 – С. 200–201.

21. Независимый двухскоростной задний вал отбора мощности универсально-пропашного трактора: пат. 9058 Респ. Беларусь, МПК В 60К 17/28 / А.И. Бобровник, М.Ф. Аль-Кинани; заявитель УО «БГАТУ» – № и 20120791; заявл. 03.09.2012. опубл. 28.02.2013 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 1 – С. 169–170.

22. Независимый задний вал отбора мощности трактора: пат. 9088 Респ. Беларусь, МПК В 60К 17/28 / А.И. Бобровник, М.Ф. Аль-Кинани, А.Д. Кузнецов, О.И. Жичко, В.А. Бульбенков; заявитель УО «БГАТУ» – № и 20120821; заявл. 18.09.2012. опубл. 30.04.2013 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2013. – № 2 – С. 172–173.

23. Привод вала отбора мощности гусеничного трактора: пат. 9615 Респ. Беларусь, МПК В 60К 17/28 / В.А. Коробкин, А.И. Бобровник, А.Н. Ивановский, М.Ф. Аль-Кинани, А.А. Игнатчик заявитель УО «БГАТУ» – № и 20130171; заявл. 25.02.2013. опубл. 30.10.2013 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 5 – С. 185.

## РЭЗЮМЭ

Аль-Кінані Мухаммед Фадхіл

### ПАВЫШЭННЕ СТАБІЛЬНАСЦІ КІНЕМАТЫЧНЫХ І ДЫНАМІЧНЫХ ХАРАКТАРЫСТЫК ВАЛА АДБОРУ МАГУТНАСЦІ ТРАКТАРА ЎДАСКАНАЛЕННЕМ ЯГО ПРЫВАДА

*Ключавыя словы:* вал адбору магутнасці, машынна-трактарны аграгат, паліўная эканамічнасць, стабілізацыя.

*Мэта даследавання* – павышэнне стабільнасці кінематычных і дынамічных характарыстык вала адбору магутнасці трактара ўдасканаленнем яго прывада.

*Падчас правядзення даследавання*, на базе аналізу існуючых канструкцый, распрацавана канструкцыя прывада вала адбору магутнасці трактара, якая забяспечвае стабілізацыю частаты кручэння рабочых органаў аграгатуемай сельскагаспадарчай машыны.

Распрацаваны алгарытм разліку рацыянальных параметраў прывада вала адбору магутнасці павышанай стабільнасці па крытэры максімізацыі ККД і алгарытм падбору аптымальнага перадаткавага дачынення каробкі перамены перадач пры змене нарузкі на рухавік.

Атрыманы залежнасці для разліку эфектыўнага ўдзельнага выдатку паліва пры змене перадаткавага дачынення каробкі перамены перадач трактара і сталай хуткасці кручэння вала адбору магутнасці і выкананы эксперыментальныя даследаванні эксплуатацыйных і магутнасных параметраў прывада вала адбору магутнасці пры стабілізацыі частаты яго кручэння.

Вызначана эканамічная эфектыўнасць выкарыстання вала адбору магутнасці павышанай стабільнасці на прыкладзе трактара «БЕЛАРУС-3522» ў аграгаце з паўпрычэпам шматфункцыянальным ПМФ–20.

## РЕЗЮМЕ

Аль-Кинани Мухаммед Фадхил

### ПОВЫШЕНИЕ СТАБИЛЬНОСТИ КИНЕМАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВАЛА ОТБОРА МОЩНОСТИ ТРАКТОРА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ ЕГО ПРИВОДА

*Ключевые слова:* вал отбора мощности, машинно-тракторный агрегат, топливная экономичность, стабилизация.

*Цель исследований* – повышение стабильности кинематических и динамических характеристик вала отбора мощности трактора совершенствованием его привода.

*В ходе проведения исследований*, на базе анализа существующих конструкций, разработана конструкция привода вала отбора мощности трактора, обеспечивающая стабилизацию частоты вращения рабочих органов агрегируемой сельскохозяйственной машины.

Разработан алгоритм расчета рациональных параметров привода вала отбора мощности повышенной стабильности по критерию максимизации КПД и алгоритм подбора оптимального передаточного отношения коробки перемены передач при изменении нагрузки на двигатель.

Получены зависимости для расчета эффективного удельного расхода топлива при изменении передаточного отношения коробки перемены передач трактора с сохранением постоянной скорости вращения вала отбора мощности, а также выполнены экспериментальные исследования эксплуатационных и мощностных параметров привода вала отбора мощности при стабилизации частоты его вращения.

Определена экономическая эффективность использования вала отбора мощности повышенной стабильности на примере трактора «БЕЛАРУС-3522» в агрегате с полуприцепом многофункциональным ПМФ–20.



## SUMMARY

AL-KINANI MOHAMMED FADHIL

### IMPROVING THE STABILITY KINEMATIC AND DYNAMIC CHARACTERISTICS TRACTOR PTO SHAFT IMPROVED ITS DRIVE

*Keywords:* power take-off, farm tractor with towed agricultural implement, fuel efficiency, stability.

*Purpose of research:* increase of stability of kinematic and dynamic characteristics of the PTO shaft improvement of its drive.

*In the course of investigations,* basing on existing configurations, there has been developed the design of the farm tractor power take-off which secures the stability of the tools' rotation frequency of the towed agricultural implement.

The algorithm for calculating the rational parameters of the stabilized PTO by criterion of maximization of the performance factor and algorithm of selection of optimum gear ratio of the gearboxes when changing the load on the engine.

There have been obtained the dependencies for the calculation of the effective fuel consumption when changing the gear ratio of the gearboxes of the farm tractor and constant speed of the PTO, as well as there have been performed experimental studies of operational parameters of the drive and PTO power output in the stabilization of its frequency of rotation.

There has been determined the economic efficiency of using the stabilized PTO on the example of the farm tractor "Belarus-3522" with towed multi-functional PMF-20.