

$P_{\max i} - P_{bi}$	3,19	2,31	2,42	2,64	1,42	1,86	1,87	1,72
-----------------------	------	------	------	------	------	------	------	------

Продление ресурса работоспособности гидропривода может быть обеспечено путем перевода трактора на выполнение технологических операций, обуславливающих его меньшую нагрузку. В противном случае целесообразно планирование ремонтных работ через интервал времени, соответствующий  $0,18\Delta T_p$  периода эксплуатации.

### ВЫВОД

В основу разработки мобильной системы мониторинга гидроприводов навесных устройств энергонасыщенных тракторов «Беларус» был положен принцип максимально возможного использования технических возможностей внутренних систем мониторинга основных компонентов трактора, в частности внутренняя система контроля электронного блока управления параметрами его функционирования (ECU) двигателем типа Duetz и цифровых первичных преобразователей типа датчика температуры DS 1820. В сочетании с применением методики мониторинга, предложенной в [3], это позволяет не только сформировать эффективную импортозамещающую систему мониторинга технического состояния гидроприводов, но и

сформировать базу данных о реальных режимах ее функционирования в эксплуатации и перейти к обслуживанию и ремонту гидропривода по его фактическому состоянию.

### ЛИТЕРАТУРА

1. **Руководство** по эксплуатации трактора «Беларус-3222/3522»: 3522-0000010 РЭ / И. Н. Усс [и др.]. – 2010. – 377 с.
2. **Инновационные** пути развития тракторов «Беларус» / И. Н. Усс [и др.] // *Механика машин, механизмов и материалов*. – 2010. – № 1 (13).
3. **Усс, И. Н.** Мониторинг технического состояния приводных систем тракторов «Беларус» / И. Н. Усс, В. Л. Басинюк, Е. И. Мардосевич. – Гомель: ИММС НАН Беларуси, 2008. – 278 с.
4. **Диагностика** технического состояния гидроприводов машин / В. Л. Басинюк [и др.] // *Вестник БГТУ. Машиностроение*. – 2002. – № 4 (16). – С. 38–40.
5. **Усс, И. Н.** Мониторинг технического состояния приводных систем тракторов «Беларус» / И. Н. Усс, В. Л. Басинюк, Е. И. Мардосевич. – Гомель: ИММС НАН Беларуси. – 278 с.
6. **Мобильный** мониторинг технического состояния гидроприводов тракторов / И. Н. Усс [и др.] // *Инновации в машиностроении: сб. науч. тр. Междунар. науч.-техн. конф. ОИМ НАН Беларуси, Минск, 30–31 окт. 2008 г. / ОИМ НАН Беларуси; редкол.: М. С. Высоцкий [и др.]. – Минск, 2008. – С. 280–287.*

Поступила 08.07.2013

УДК 69.002.5-82

## ФОРМИРОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ МОДЕРНИЗАЦИИ ЗЕМЛЕРОЙНЫХ МАШИН

*Канд. техн. наук, доц. КОТЛОБАЙ А. Я., инж. КОТЛОБАЙ А. А., канд. воен. наук, доц. ТАМЕЛО В. Ф.*

*Белорусский национальный технический университет*

На вооружении в частях и соединениях инженерных войск находится землеройная техника: путепрокладчики, траншейные машины, котлованные машины, универсальные землеройные машины, одноковшовые экскаваторы. Модернизация землеройных машин инженер-

ного вооружения может проводиться по ряду направлений на базе промышленных предприятий транспортного машиностроения, тракторостроения Республики Беларусь.

Первое направление модернизации военно-инженерных землеройных машин предполагает

создание гаммы принципиально новых машин инженерного вооружения на основе известных технологий боевого применения с использованием иных базовых шасси, изменения типоразмерного ряда параметров рабочего оборудования в соответствии с современными методами решения боевых задач. Комплект технологического оборудования может дополняться новыми образцами исходя из необходимости решения ряда современных задач, выполняться съемным. Создается множество новых машин, отличающихся массой, производительностью, стоимостью и иными характеристиками.

Для землеройных машин должны быть разработаны пневмоколесные тягово-транспортные шасси с использованием серийно выпускаемых узлов и агрегатов. При формировании облика тягово-транспортного шасси землеройной машины необходимо обеспечить высокие тягово-сцепные качества и транспортные скорости при относительно незначительных расходах топлива. Это достигается переводом технологического оборудования из рабочего положения, когда оно находится вне тягово-транспортного шасси, в транспортное, предполагающее размещение технологического оборудования непосредственно на тягово-транспортном шасси. Для реализации этих требований тягово-транспортное шасси должно располагать грузоподъемностью и габаритными возможностями по установке технологического оборудования в транспортном режиме, что может быть достигнуто увеличением числа ведущих осей с двух до трех, четырех. Многоосные тягово-транспортные шасси широко используются при создании гаммы машин лесного комплекса, выпускаемых МТЗ.

Формирование современных землеройных машин может быть реализовано с использованием модульного принципа построения, получившего широкое применение при создании дорожно-строительной техники. Универсальный энергетический модуль, например одноосный, сочленяется шарнирно с технологическим модулем, оснащенным собственным шасси, имеющим оптимальную конструкцию для выполнения заданных инженерных задач. В зависимости от энергоемкости технологического процесса технологический модуль может оснащаться собственной энергетической установ-

кой либо ходовое и рабочее оборудование подключается к системе отбора мощности силовой установки энергетического модуля. Также энергетический модуль может быть выполнен многоосным, а технологический – полуприцепным либо прицепным. Энергетический модуль может оснащаться системой навески технологического оборудования (передней, задней, боковой и пр.), позволяющей использовать сменное рабочее оборудование для решения широкого круга инженерных задач.

Второе направление модернизации военно-инженерных землеройных машин предполагает переустановку технологического оборудования на серийно выпускаемые тягово-транспортные шасси. В рамках данного направления проводится коренная модернизация систем отбора мощности двигателя базовой машины на привод рабочих органов. Предпочтение следует отдавать гидрообъемным передачам на основе современной элементной базы ведущих мировых товаропроизводителей гидравлической аппаратуры. Создание современной системы гидравлических приводов рабочего оборудования может развиваться в направлении формирования моноагрегатных насосных установок на базе использования многопоточных насосов, либо оснащения однопоточных насосов агрегатами деления потока рабочей жидкости. Рабочие органы инженерных землеройных машин не требуют радикальной переработки, поскольку инженерные решения, заложенные в конструкции землеройных машин, актуальны и на современном этапе.

В рамках третьего направления модернизации военно-инженерных землеройных машин производится коренная модернизация существующих образцов техники, находящейся на вооружении. Это касается, прежде всего, инженерной техники, базирующейся на специальных гусеничных шасси. Ревизии и последующей модернизации могут подвергаться системы приводов технологического оборудования, трансмиссия машины и ее ходовая часть при сохранении основных структурных элементов землеройных машин. Кроме того, модернизация должна решить вопросы систем управления, навигации и т. д. на современном уровне. Направление предполагает перевод технологического оборудования и основных систем ин-

женерной техники на современную элементную базу.

Рассмотрим основные алгоритмы модернизации землеройной техники на примере полковой землеройной машины ПЗМ-2 и путеукладчика БАТ-2 [1].

Полковая землеройная машина ПЗМ-2 предназначена для отрывки котлованов и траншей при оборудовании позиций войск и пунктов управления. По своим тактико-техническим характеристикам ПЗМ-2 соответствует современному уровню решения боевых задач. Технологическое оборудование полностью удовлетворяет требованиям, предъявляемым к машине. Опыт эксплуатации данной машины показал низкую надежность двигателя СМД-62, что вынудило производителей заменить силовую установку тягача. Современные модели, выпускаемые ЗАО «Трактормаш» (г. Харьков) – трактор ОрТЗ-150Г-Я-01 с навесным бульдозерным оборудованием, – оснащены двигателем ЯМЗ-236Д-3/Д, базовая платформа которого хорошо зарекомендовала себя при эксплуатации. Поддержание работоспособного состояния ПЗМ-2 является сложной инженерной задачей из-за отсутствия запасных частей, производство которых прекращено.

Модернизация ПЗМ-2 может производиться в рамках второго направления и предполагает создание новой траншейно-котлованной машины на базе доработанного по стандартам Вооруженных Сил Республики Беларусь базового шасси отечественного производства. В качестве базового шасси может быть применена модификация шасси универсального «Беларус Ш-406» (табл. 1) производства Минского тракторного завода. Также может быть исполь-

зована модификация трактора МоА3-49011 производства Могилевского автомобильного завода. Трактор создан по конструктивной схеме, аналогичной колесному тягачу Т-155. Гидромеханическая трансмиссия обеспечивает выбор рационального режима работы с землеройным оборудованием. Модернизация ПЗМ-2 на основе использования базовых шасси отечественного производства обеспечит повышение ремонтпригодности и эффективности боевого применения.

На современном этапе при модернизации рабочего оборудования ПЗМ-2 важнейшим направлением является замена сложных и материалоемких механических систем приводов рабочего оборудования гидравлическими объемными приводами на современной элементной базе гидравлических агрегатов. Рациональным является отказ от применения сложной и материалоемкой распределительной коробки и использование гидравлического объемного привода цепного рабочего органа и метателя на базе стандартных гидравлических агрегатов. Расширение применения стандартных гидравлических агрегатов в приводе рабочего оборудования снизит стоимость изготовления машины. Использование гидравлического объемного привода цепного рабочего органа и метателя повысит надежность рабочего оборудования, исключая поломки элементов привода при динамическом увеличении нагрузки. Таким образом, модернизация систем приводов рабочего оборудования позволит уменьшить массу рабочего оборудования и снизить стоимость его изготовления, упростит техническое обслуживание и ремонт траншейно-котлованной машины.

Таблица 1

Технические характеристики базовых шасси землеройных машин

Техническая характеристика	Марка машины				
	«Беларус Ш-406»	МоА3-49011	МоА3-40484-025	МоА3-40489	МоА3-40486
Эксплуатационная масса, кг	6300	13500	27500	30400	36700
Максимальная скорость, км/ч	50	35	46		
Двигатель	Д-245.2-200	ЯМЗ-238Б			Cummins M11C350
Мощность двигателя, кВт	90	220			261
Номинальное тяговое усилие, кН	20	50	180	200	240
Трансмиссия	Механическая (14/4)	Гидромеханическая (6/1)			

Подвеска: переднего моста заднего моста	Поддресоренная Жесткая	Жесткая Жесткая	Жесткая Пневмогидравлическая
Шины, дюйм	16,5/70-18	28,1R26	26,5×25

Гидросистема траншейно-котлованной машины (рис. 1) оснащена насосом 1 с баком 2 и обеспечивает: позиционирование отвала бульдозера гидроцилиндрами 3, 6, управляемыми гидрораспределителем 7; работу гидромотора 5 привода лебедки – при открытом вентиле 4 и поднятом отвале бульдозера; установку рабочего оборудования (цепного рабочего органа и метателя) в транспортное положение, с фиксацией вентилем 11, и рабочее положение – гидроцилиндрами 10, 12, управляемыми гидрораспределителем 9; при отрывке траншей – подъем-опускание цепного рабочего органа гидроцилиндрами 16, 18, управляемыми гидрораспределителем 17; при отрывке котлованов – качание цепного рабочего органа гидроцилиндрами 13, 15, управляемыми гидрораспределителем 14.

В рамках модернизации системы приводов рабочего оборудования траншейно-котлованной машины [2] гидросистема дополнительно оснащается насосной установкой 26 и гидромоторами 23, 24 привода цепного рабочего органа и метателя (рис. 1). Дополнительная насосная установка приводится от ВОМ базового шасси. Может быть рекомендована к использованию насосная установка 26, состоящая из насоса 22 марки 313.3.107 с регулятором с пропорциональным электрогидравлическим управлением и системы управления, включающей элект-

ронный блок управления 25, гидрораспределитель 27 с пропорциональным электромагнитом, ступенчатый поршень изменения положения блока цилиндров насоса 22, датчик обратной связи положения ступенчатого поршня. Номинальный объем насоса – 107 см<sup>3</sup>, минимальный – 0–40 см<sup>3</sup>. Производитель – ОАО «Пневмостроймашина», РФ. Гидромоторы 23, 24 управляются трехпозиционными гидрораспределителями 19, 20. При необходимости изменения режима работы рабочего оборудования траншейно-котлованной машины оператор может увеличить производительность насоса 22 посредством алгоритмов, заложенных в электронный блок управления 15 при выполнении любой операции, не изменяя режима работы двигателя. Независимую работу гидромоторов 23, 24, нагруженных различной нагрузкой, обеспечивает делитель потока 21.

При разработке основных направлений модернизации систем приводов рабочего оборудования военно-инженерных землеройных машин авторами предложен принцип объемного деления потоков рабочей жидкости, состоящий в дискретной подаче фиксированных объемов рабочей жидкости последовательно по напорным магистралям потребителей, предложены основные технические решения дискретных гидрораспределителей (ДГ) роторного типа [3, 4].

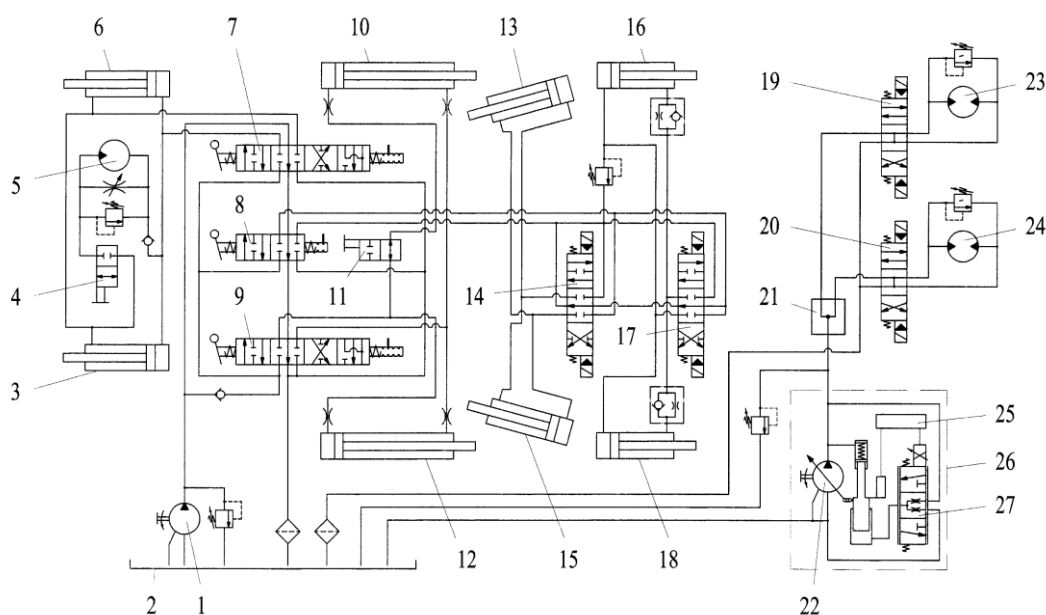


Рис. 1. Принципиальная схема гидропривода траншейно-котлованной машины: 1, 22 – насос; 2 – бак;

3, 6, 10, 12, 13, 15, 16, 18 – гидроцилиндр; 4, 11 – вентиль; 5, 23, 24 – гидромотор;

7, 8, 9, 14, 17, 19, 20, 27 – гидрораспределитель; 21 – делитель потока; 25 – блок управления; 26 – насосная установка

на колесной базе потребует значительных инвестиций, и при существующем парке инженерной техники не актуально.

Путепрокладчик БАТ-2 предназначен для перемещения грунта при устройстве проходов через овраги, рвы, траншеи; устройстве спусков к переправам, расчистке маршрутов колонного пути; отрывке котлованов при самоокапывании; устройстве проходов на местности, в завалах в лесу и населенных пунктах; для укладки блоков дорожно-мостовых конструкций. По своим тактико-техническим характеристикам БАТ-2 соответствует современному уровню решения боевых задач.

Модернизация БАТ-2 может производиться в рамках второго направления и предполагает создание нового путепрокладчика на базе доработанного по стандартам Вооруженных Сил Республики Беларусь базового шасси отечественного производства. В качестве альтернативы гусеничной базе БАТ-2 можно предложить колесную базу, в производстве которой предприятиями Беларуси накоплен огромный опыт. Могилевский автомобильный завод разработал ряд колесных тягачей, агрегируемых с землеройным оборудованием (табл. 1). Эти машины с шарнирно-сочлененной рамой оснащены гидромеханической трансмиссией и двумя ведущими мостами, обладают отличной проходимостью и высокими тяговыми показателями. Пневмогидравлическая подвеска заднего моста позволяет развивать транспортную скорость до 45–50 км/ч. Вместе с тем, создание нового путепрокладчика

Кроме того, модернизация БАТ-2 может производиться в рамках третьего направления и предполагает перевод системы приводов технологического оборудования на современную элементную базу. В гидросистеме путепрокладчика БАТ-2 [1] применяются две пары насосов 210.25 и 210.16 общим рабочим объемом 82 см<sup>3</sup> и комплект гидроаппаратуры, обеспечивающий работу насосной установки в режиме холостого хода и необходимую подачу в рабочем режиме. В рамках модернизации гидросистемы предлагается замена существующего насосного агрегата, состоящего из раздаточной коробки и четырех насосов, одним насосом переменной производительности. Модернизация системы приводов рабочего оборудования позволит упростить систему приводов и систему управления, исключив раздаточную коробку привода четырех насосов и ряд электромагнитных кранов, используемых для ступенчатого регулирования подачи насосного агрегата. Модернизация обеспечивает уменьшение массы рабочего оборудования и снижение стоимости изготовления. Упрощаются техническое обслуживание и ремонт путепрокладчика.

Может быть рекомендована аналогичная насосная установка 12 (рис. 2) производства

ОАО «Пневмостроймашина», РФ, состоящая из насоса 15 марки 313.3.80, либо 313.3.107, номинальным объемом 80, либо 107 см<sup>3</sup> и минимальным – 0–40 см<sup>3</sup>.

Гидросистема путеукладчика обеспечивает: поворот отвала бульдозера в рабочее (транспортное) положение гидроцилиндрами 26, 29, управляемыми гидрораспределителем 32; позиционирование отвала бульдозера гидроцилиндрами 21, 23, управляемыми гидрораспределителем 22, и перевод отвала в плавающее положение гидрораспределителем 19; позиционирование лыжи бульдозера гидроцилиндром 34, управляемым гидрораспределителем 33; фиксацию (расфиксацию) механизма перевода крыльев отвала в бульдозерное, грейдерное положение гидроцилиндрами 24, 25, управляемыми гидрораспределителем 31; перекоп отвала бульдозера гидроцилиндрами 27, 28, управляемыми гидрораспределителем 30; позиционирование рыхлителя гидроцилиндрами 17, 18, управляемыми

гидрораспределителем 20; подъем (опускание) стрелы крана гидроцилиндром 1, управляемым гидрораспределителем 6; поворот крана гидромотором 8, управляемым гидрораспределителем 7, при одновременном растормаживании механизма поворота крана гидроцилиндром 10, управляемым электромагнитным краном 9; привод грузовой лебедки крана гидромотором 2, управляемым гидрораспределителем 5, при одновременном растормаживании механизма привода грузовой лебедки гидроцилиндрами 4, 3, управляемыми электромагнитным краном 11.

Применение насоса переменной производительности в составе системы приводов технологического оборудования путеукладчика позволит изменять режим работы технологического оборудования при изменении внешних условий, обеспечивая максимальную производительность при выполнении основных технологических операций.

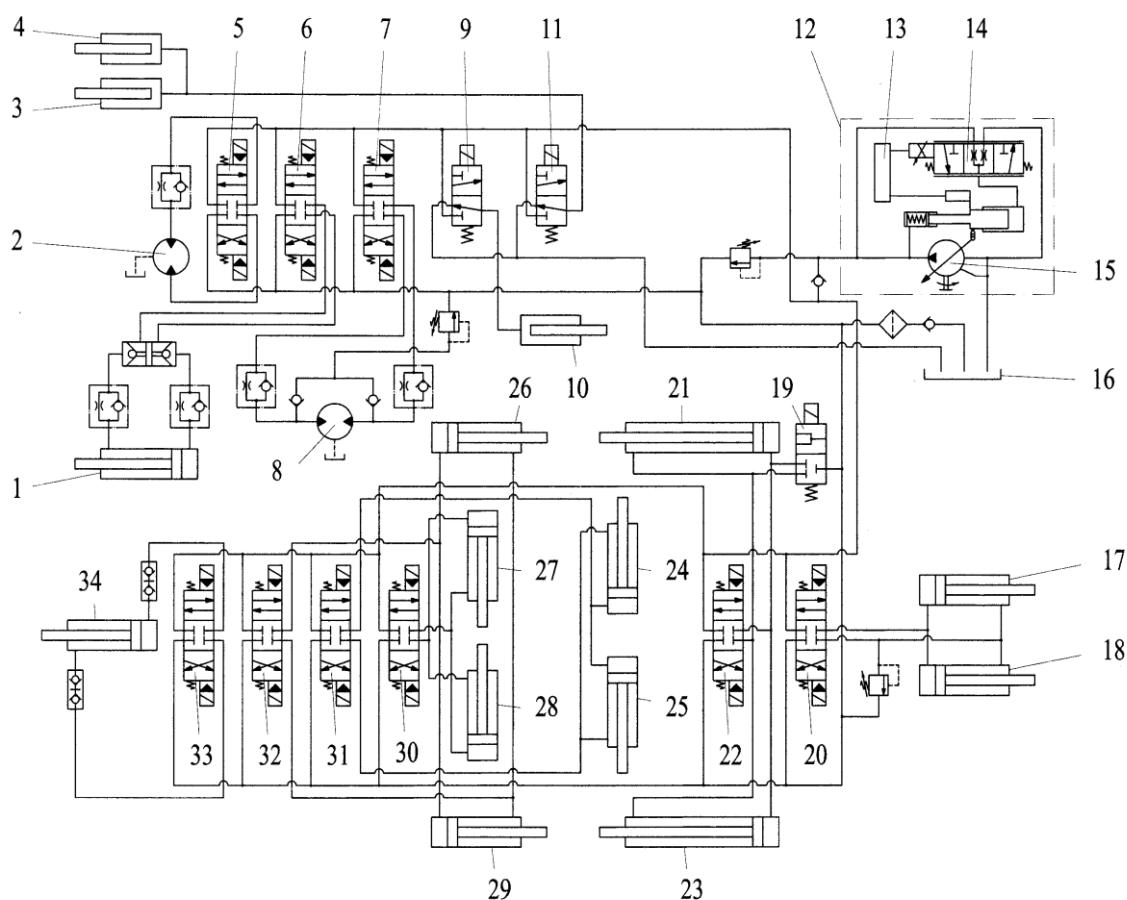


Рис. 2. Принципиальная схема гидропривода путеукладчика: 1, 3, 4, 10, 17, 18, 21, 23–29, 34 – гидроцилиндр; 2, 8 – гидромотор; 5–7, 14, 19, 20, 30–33 – гидрораспределитель; 9, 11 – электромагнитный кран; 12 – насосная установка; 13 – блок управления; 15 – насос; 16 – бак

## ВЫВОДЫ

1. Модернизация землеройных машин инженерного вооружения на основе использования базовых шасси отечественного производства обеспечивает повышение ремонтпригодности и эффективности боевого применения.

2. Модернизация систем приводов рабочего оборудования землеройных машин инженерного вооружения позволит уменьшить массу рабочего оборудования и снизить стоимость изготовления, упростит техническое обслуживание и ремонт землеройных машин инженерного вооружения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Машины** инженерного вооружения. Ч. I: Общая характеристика. Машины для преодоления разрушений

и механизации земляных работ: учеб. для курсантов военных училищ инженерных войск / А. В. Ольшанский [и др.]; под ред. А. В. Ольшанского. – М.: Военное изд-во, 1986. – 422 с.

2. **Гидравлическая** система рабочего оборудования землеройной машины: пат. 5586 Респ. Беларусь, МПК (2006) F 16H 61/40, F 15B 11/00 / А. Я. Котлобай, А. А. Котлобай, Н. Г. Шмуляев, Ю. В. Костко, С. В. Кондрачев, В. Ф. Тамело; заявитель Белорусский национальный технический университет. – № u 20090218; заявл. 2009.03.18; опубл. 2009.10.30 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2009. – № 5.

3. **Коробкин, В. А.** Агрегаты дискретного действия гидроприводов строительных и дорожных машин / В. А. Коробкин, А. Я. Котлобай, А. А. Котлобай // Строительные и дорожные машины. – 2010. – № 5. – С. 43–46.

4. **О перспективных** направлениях создания гидравлических агрегатов приводов строительных и дорожных машин / В. А. Коробкин [и др.] // Наука и техника. – 2012. – № 6. – С. 71–76.

Поступила 13.02.2013

УДК 629.114.2

## МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ РЕГРЕССИОННЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ДЛЯ ТЯГОВЫХ КРИВЫХ МЕТОДОМ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ

*Канд. техн. наук, доц. РАВИНО В. В., инж. КАЛИНИН Н. В.*

*Белорусский национальный технический университет*

В результате тяговых испытаний колесных и гусеничных тракторов получен богатый экспериментальный материал [1, 2], который позволил установить взаимосвязь между коэффициентом использования сцепного веса  $\varphi_{кр} = F_{кр}/G_{сц}$  ( $G_{сц}$  – вес трактора, приходящийся на ведущие колеса; для полноприводных колесных и гусеничных тракторов весь вес  $G$  трактора используется в качестве сцепного, т. е.  $G_{сц} = G$  для создания усилия на крюке  $F_{кр}$ ) и буксованием  $\delta$  движителя [3].

Экспериментальные зависимости  $\varphi_{кр}(\delta)$  используются для определения оптимальных конструктивных параметров трактора и анализа их ходовых систем. Большое практическое значение имеют зависимости  $\varphi_{кр}(\delta)$  для построения теоретической тяговой характеристики проектируемого трактора. Однако при выполнении расчетов удобнее пользоваться не массивами данных  $\varphi_{кр}(\delta)$ , а иметь аналитические выраже-

ния, позволяющие воспроизвести кривую  $\varphi_{кр}(\delta)$  во всем диапазоне изменения буксования движителей.

Поскольку сцепной вес, приходящийся на ведущие мосты и колеса трактора, зависит от условий работы, в более общем виде целесообразнее исследовать зависимость буксования колеса не от абсолютного значения развиваемой им касательной силы тяги, а от отношения этой силы к сцепному весу, т. е. от реализуемого коэффициента сцепления  $\varphi$ .

Существует достаточно много формул, описывающих зависимости между  $\varphi$  и буксованием  $\delta$  или, что то же самое, между  $F_k$  и  $\delta$ . Наиболее распространенной из них является экспоненциальная зависимость [3]

$$\varphi = \varphi_{\max}(1 - e^{-k\delta}), \quad (1)$$

где  $\varphi_{\max}$  и  $k$  – постоянные эмпирические коэффициенты, зависящие от почвенного фона и типа применяемых шин.