

А. И. ЗАВРАЖНОВ, С. М. ВЕДИЩЕВ,
Ю. Е. ГЛАЗКОВ, А. В. ПРОХОРОВ,
Н. В. ХОЛЬШЕВ, А. С. РОГОЖКИН

УСТРОЙСТВО, ЭКСПЛУАТАЦИЯ, ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ ТРАКТОРОВ



Тамбов
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2023

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тамбовский государственный технический университет»**

**А. И. ЗАВРАЖНОВ, С. М. ВЕДИЩЕВ, Ю. Е. ГЛАЗКОВ,
А. В. ПРОХОРОВ, Н. В. ХОЛЬШЕВ, А. С. РОГОЖКИН**

УСТРОЙСТВО, ЭКСПЛУАТАЦИЯ, ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ ТРАКТОРОВ

Утверждено Ученым советом университета в качестве учебного пособия
для студентов, обучающихся по направлениям
35.03.06 и 35.04.06 «Агроинженерия», всех форм обучения

Учебное электронное издание



Тамбов
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2023

УДК 629.366
ББК 39.34
У82

Рецензенты:

Старший научный сотрудник ФГБНУ «ВНИИТиН»
И. В. Бусин

Кандидат педагогических наук, доцент,
доцент кафедры «ТТПН», заместитель директора
по учебно-методической работе МК ФГБОУ ВО «ТГТУ»
А. И. Попов

У82 **Устройство**, эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт энергонасыщенных тракторов [Электронный ресурс] : учебное пособие / А. И. Завражнов, С. М. Ведишев, Ю. Е. Глазков, А. В. Прохоров, Н. В. Хольшев, А. С. Рогожкин. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2023. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования : ПК не ниже Pentium IV ; CD-ROM-дисковод ; 5,0 Мб ; RAM ; Windows 95/98/XP ; мышь. – Загл. с экрана.
ISBN 978-5-8265-2637-8

Приведены общие сведения о типаже и классификации тракторов по тяговому классу и другим классификационным признакам, описано общее устройство тракторов и требования к их конструкции, подробно рассмотрено устройство силовых передач современных тракторов.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлениям 35.03.06 и 35.04.06 «Агроинженерия», всех форм обучения. Также будет полезно при проведении практических занятий, связанных с изучением конструктивных особенностей тракторов.

УДК 629.366
ББК 39.34

*Все права на размножение и распространение в любой форме остаются за разработчиком.
Нелегальное копирование и использование данного продукта запрещено.*

ISBN 978-5-8265-2637-8

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2023

ВВЕДЕНИЕ

Тракторы – основные энергетические средства для выполнения механизированных работ в сельском хозяйстве. В 1990-х годах в России наблюдалось снижение объема проведения механизированных работ. Это обстоятельство объясняется тем, что после образования самостоятельных государств вместо бывших союзных республик СССР резко сократилось производство сельскохозяйственной техники из-за нарушения поставок комплектующих изделий, которые ранее производились в союзных республиках.

В настоящее время многие тракторные заводы нашей страны и СНГ готовы удовлетворить запросы разных потребителей по количеству и качеству производимой техники. На современных тракторах улучшены условия труда водителей, расширен диапазон мощности тракторов, снижены вредные воздействия на окружающую среду. Например, ПО «Минский тракторный завод» подготовил к производству более двадцати моделей и модификаций тракторов: универсально-пропашные, малогабаритные и тракторы общего назначения. Среди них самыми распространенными в сельском хозяйстве России являются тракторы МТЗ-80 и -82. В последнее время налажен выпуск модификаций этих тракторов – МТЗ-80.1, -82.1, -82.2. Индексы «1» и «2» означают модернизацию соответствующей базовой модели с установкой одного или нескольких узлов повышенного технического уровня при сохранении основной конструкции трактора. В учебных целях в книге сохранены наименования марок базовых моделей.

С каждым годом повышаются требования к уровню профессиональной подготовки трактористов-машинистов сельскохозяйственного производства, поэтому учащиеся должны получить прочные знания по устройству и работе наиболее распространенных в регионе моделей тракторов.

1. ТРАКТОРЫ. УСТРОЙСТВО

1.1. ТИПАЖ И КЛАССИФИКАЦИЯ ТРАКТОРОВ

Трактор – самоходная машина на колесном или гусеничном ходу, которая приводит в действие прицепные, навесные, или смонтированные на ней сельскохозяйственные, дорожные, транспортные и другие машины. Буксируя рабочую машину, трактор одновременно может приводить в действие ее механизмы специальным валом отбора мощности. Трактор используют для выполнения мобильных механизированных работ в сельском хозяйстве, производстве, строительстве и других отраслях народного хозяйства, а также как источник энергии для приведения в действие механизмов стационарных машин с помощью приводного шкива.

Типаж тракторов. Чтобы выполнить большое количество разнообразных по своему характеру работ, народному хозяйству нужны различные типы тракторов.

Типаж, или система тракторов, – это технически, технологически и экономически обоснованная совокупность всех моделей тракторов, рекомендуемых в производство. В каждом тяговом классе существуют базовые модели (основные наиболее массовые тракторы) и модификации, на которых установлены унифицированные с базовыми моделями двигатели и ряд других составных частей. При их унификации (единообразии) облегчаются изготовление и эксплуатация тракторов.

Модель – машина с определенными конструкцией и расположением агрегатов. *Базовой* называют наиболее распространенную и универсальную модель тракторов, имеющую специализированные модификации.

Модификация – видоизмененная базовая модель. Она специализирована по назначению и унифицирована с базовой моделью.

Марка трактора – условное кодовое название модели определенной конструкции. Для обозначения марки трактора вначале пишут буквенные знаки, обозначающие сокращенное название завода-изготовителя, первые буквы определенного слова или характерное для трактора слово и через дефис – цифру, указывающую мощность двигателя в лошадиных силах или номер модели.

Критерием оценки трактора при тяговой концепции использования является тяговое усилие (тяговая мощность), по которому осуществляется подбор трактора для согласования работы с сельскохозяйственными машинами и орудиями.

Разработан типаж тракторов (ГОСТ 27021–86 (СТ СЭВ 628-85) «Тракторы сельскохозяйственные и лесохозяйственные. тяговые классы»), состоящий из 10 классов (см. табл. 1.1, рис. 1.1), каждый из которых отличается от другого величиной номинального тягового усилия.

1.1. Тяговые классы тракторов и соответствующие им номинальные тяговые усилия

| Тяговый класс | Номинальное тяговое усилие, кН |
|---------------|--------------------------------|
| 0,2 | От 1,8 до 5,4 |
| 0,6 | Свыше 5,4 до 8,1 |
| 0,9 | Свыше 8,1 до 12,6 |
| 1,4 | Свыше 12,6 до 18,0 |
| 2 | Свыше 18,0 до 27,0 |
| 3 | Свыше 27,0 до 36,0 |
| 4 | Свыше 36,0 до 45,0 |
| 5 | Свыше 45,0 до 54,0 |
| 6 | Свыше 54,0 до 72,0 |
| 8 | Свыше 72,0 до 108,0 |

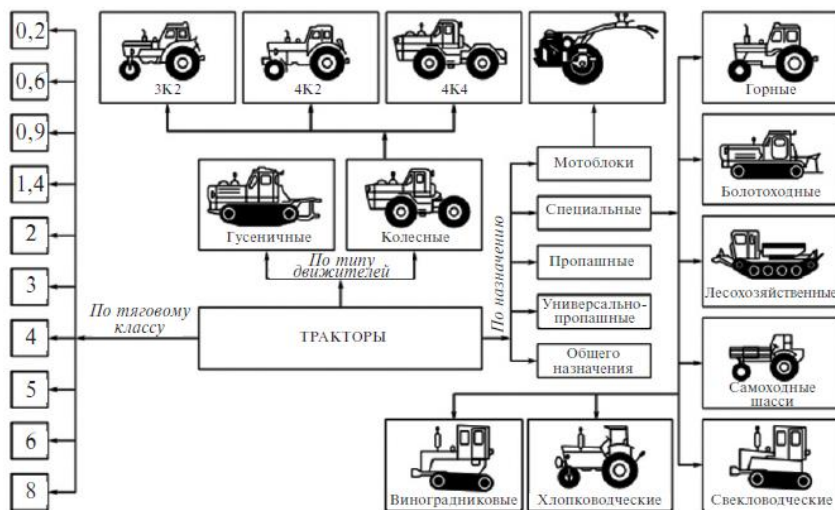


Рис. 1.1. Классификация сельскохозяйственных тракторов

В функции от тягового усилия выделяют тягово-динамические (тяговая мощность, скорость, буксование, тяговый КПД) и топливно-экономические (часовой и удельный расход топлива) показатели. В качестве оценочной классификационной точки принимается номинальное тяговое усилие $P_{кр. ном}$.

Согласно ГОСТ 27021–86 определено, что трактор должен работать с наибольшей экономичностью при значении буксования не более 18% с ходовой системой 4К2, 16% – 4К4 и 5% – с гусеничной ходовой системой. Точка наибольшей экономичности при работе трактора находится в зоне максимального значения тягового КПД.

Каждый класс содержит одну основную (базовую) модель трактора и несколько ее разновидностей (модификаций). Последние используются для выполнения специальных сельскохозяйственных операций. По конструкции модификация представляет собой видоизмененную модель базового трактора, сохраняющую его основные агрегаты, т.е. имеющую высокую степень единообразия (унификации). Принцип унификации широко используется в машиностроении, так как позволяет быстро, с наименьшими затратами создавать необходимые машины (в данном случае тракторы), эксплуатация которых удешевляется и упрощается.

В сельскохозяйственном производстве наибольшее применение получили тракторы 9 классов – с тяговым усилием 2; 6; 9; 14; 20; 30; 40; 50; 60 кН.

Тракторы тягового класса 0,2 характеризуются невысокой мощностью двигателя (9...12 кВт). Эта техника предназначена для решения простейших задач и работ на самых простых типах грунта, а также для механизации коммунальных и строительных работ, и зачастую используется в индивидуальных хозяйствах или в качестве вспомогательного оборудования. Она обладает очень низким уровнем проходимости, поэтому для нормальной работы требует хорошо укатанного плотного дорожного покрытия. Малогабаритные тракторы указанного класса оборудованы гидравлическими системами и механизмами навески, позволяющими агрегатировать с различными прицепными и навесными орудиями. В настоящее время тяговый класс 2 кН представлен тракторами Беларус-132Н РУП «Сморгонский агрегатный завод» (в составе «МТЗ-ХОЛДИНГ»), «Уралец» ООО «Челябинский тракторный завод – УРАЛТРАК» и др.

Тракторы тягового класса 0,6 используют на сравнительно небольших площадях сельскохозяйственных угодий при выполнении малоэнергоёмких работ (основной и предпосевной обработки почвы, посева и посадки сельскохозяйственных культур, кормозаготовки и др.), а также при транспортировке грузов на небольшие расстояния. Наиболее широко распространены в этом классе тракторы Т-25 и Т-25А производства ООО «ВМТЗ» (Владимирский моторо-тракторный завод). Данные модели прошли модернизацию и в настоящее время выпускаются под марками Т30-69 и Т30-70. Кроме того, в мощностном диапазоне 25...45 л.с. ООО «ВМТЗ» представляет достаточно широкий спектр модельного ряда тракторов. Так, универсально-пропашные тракторы ВТЗ-2032А, ВТЗ-2048А применяются в сельском и коммунальном хозяйстве, складских помещениях, где маневренность и способность осуществлять погрузочно-разгрузочные работы в условиях ограниченного пространства являются приоритетными. Колесный трактор Беларус-320 производства ОАО «МТЗ» в тяговом классе 6 кН (0,6) в последние годы завоевывает все большую популярность.

Кроме универсально-пропашных колесных тракторов в тяговом классе 6 кН производятся самоходные транспортные средства рамной конструкции (самоходные шасси). *Самоходные шасси* – это разновидность трактора,

на раме которого смонтирована грузовая платформа для перевозки грузов или навешены рабочие органы сельскохозяйственных машин и орудий, а также агрегаты для работы в коммунальном хозяйстве. В Российской Федерации самоходные шасси производит ООО «ВМТЗ». По основным деталям и сборочным единицам шасси ВТЗ-30СШ унифицировано с трактором ВТЗ-2032 и отличается от него тем, что на шасси дизельный двигатель и силовая передача размещены сзади, а передняя часть представляет собой открытую раму, предназначенную для установки платформы, навесных агрегатов и машин. На базе ВТЗ-30СШ производятся следующие машины: вилочный погрузчик ВТЗ-30СШ-ПВ, с которым могут агрегатироваться дорожные и уборочные щетки, снегоочистители, вилы, бетономеситель, гидробур, сварочная, компрессорная и насосная установки, гидравлические ножницы и устройство для очистки дорог и тротуаров; самопогрузчик ВТЗ-30СШ-СП; шасси самоходное с гидроманипулятором ВТЗ-30СШ-ГМ; вакуумная тротуароуборочная машина ВТЗ-30СШ-КО.

Колесные тракторы тягового класса 0,9 в агрегате с навесными и прицепными орудиями используются в средних сельскохозяйственных организациях и фермерских хозяйствах для проведения предпосевной обработки почвы, посева, междурядной обработки пропашных культур, для заготовки кормов, транспортных работ, привода стационарных машин, работы в животноводческих фермах и выполнения других общехозяйственных работ. В Российской Федерации единственным предприятием, производящим тракторы класса 0,9, являлось ОАО «ЛТ» («Липецкий трактор»), входящее в состав концерна «Тракторные заводы». Трактор Т-40М, одна из первых моделей этого класса, был выполнен с двумя ведущими мостами, поэтому обладал повышенной силой тяги и лучшей проходимостью. Трактор Т-40АНМ (модификация Т-40М) имел пониженный центр тяжести и поэтому мог работать не только на равнинах, но и на склонах. В 2000-х гг. ОАО «ЛТ» производило универсально-пропашные тракторы серии ЛТЗ-60 (ЛТЗ-60А, ЛТЗ-60АБ и ЛТЗ-60АБ-10). Но к 2009 г. спрос на эти тракторы снизился, так как специально для тракторов класса 0,9 навесное и прицепное оборудование не производилось, с навесным и прицепным оборудованием, предназначенным для тракторов класса 14 кН, они не агрегатировались, а использовать их с агрегатами, предназначенными для тракторов класса 6 кН, экономически нецелесообразно. В жестких рыночных условиях производство тракторов класса 0,9 стало нерентабельным, и в 2009 г. концерн «Тракторные заводы» прекратил производство тракторов в г. Липецке.

ОАО «МТЗ» выпускает трактор тягового класса 0,9 Беларус-622, оснащенный итальянским двигателем Lamborghini LDW 2204, отличительными особенностями которого являются низкий уровень содержания вредных веществ в выхлопных газах (соответствие стандартам Евро-3А) и высокая производительность при небольших эксплуатационных расходах. Универсальное переднее и заднее трехточечное навесное устройство и широкий

диапазон скоростей позволяют использовать обширный ассортимент навесного и прицепного оборудования.

Тракторы тягового класса 1,4 (Беларус-80.1, Беларус-82.1, Беларус-820/822, Беларус-920/922/923/952/1025, ЮМЗ-6АКМ, ЮМЗ-6ДМ, ЛТЗ-60АБ и др.) эффективно используют при возделывании и уборке технических и овощных культур. В агрегате с навесными, полунавесными и прицепными сельскохозяйственными машинами и орудиями они служат для вспашки, культивации, боронования, посева, посадки, междурядной обработки и заготовки кормов, разбрасывания удобрений, перевозки, а также приводят в действие стационарные машины.

Тракторы тягового класса 2 являются универсально-пропашными и предназначены для возделывания и уборки сахарной свеклы, картофеля и других низкостебельных пропашных культур, а также для выполнения работ общего назначения. ОАО «МТЗ» производит колесный трактор тягового класса 2 Беларус-1221 и его модификации с колесной формулой 4К4а и мощностью двигателя 130 л.с. Трактор предназначен для выполнения различных сельскохозяйственных работ с навесными, полунавесными и прицепными машинами и орудиями. Может использоваться в лесном и коммунальном хозяйстве, строительстве, промышленности. Трактор приспособлен для работы в различных почвенно-климатических зонах и на всевозможных видах почв. В сегменте рынка колесных тракторов тягового класса 2 представлены и зарубежные производители сельскохозяйственной техники: John Deere (тракторы серии JD 6020); Case New Holland (Т6000, Case IH MXM, ТМ); AGCO (Massey Ferguson (MF 5400), Fendt (400 Vario)) и др.

Тракторы тягового класса 3. В сегменте колесных тракторов тягового класса 3 ОАО «МТЗ» представляет трактор Беларус-1523 и его модификации. Беларус-1523 оснащен 6-цилиндровым рядным дизелем мощностью 114 кВт (155 л.с.) с турбонаддувом.

ОАО «КамАЗ» производит два трактора классической компоновки ХТХ-185 и ХТХ-215, они комплектуются импортными двигателями IVECO BetaPower и Cummins QSB соответственно. Максимальная мощность модели ХТХ-185 достигает 198 л.с., ХТХ-215 – 220 л.с.

Одним из основных иностранных производителей, присутствующих в данном сегменте, является Case New Holland с серией тракторов Т7000 (основные модели Т7040, Т7050, Т7120, Т7130, Т7220, Т7230) и отдельными моделями Pu ma 165, MX 200, MXM 190, ТМ 1754 WD и др.

Тракторы тягового класса 4. В сегменте колесных тракторов тягового класса 4 ОАО «МТЗ» производит Беларус-2022, снабженный более мощным по сравнению с Беларус-152 дизелем (210 л.с.). Гидрообъемное рулевое управление обеспечивает легкость и простоту управления трактором при выполнении любых работ, электрогидравлическая система Bosch – силовой, позиционный и смешанный способы автоматического регулирования при работах общего назначения. На тракторе предусмотрена блокировка диффе-

ренциала задних колес с автоматическим отключением при повороте передних колес на угол более 13° и принудительная блокировка. Гусеничный трактор представлен моделью Беларус-2103.

В 2007 году ОАО «Ростсельмаш» приобрело 80% акций компании Buhler Industries Inc, крупнейшего в мире производителя энергонасыщенных тракторов, реализуемых под торговой маркой Versatile. В тяговом классе 4 Buhler поставляет на рынок серию тракторов общего назначения классической компоновки Genesis с широким мощностным диапазоном (до 278 л.с.). Все модели оснащены экономичными двигателями Constant Power Plus с рабочим объемом 7,5 л, автоматической коробкой передач Powershift (18 передач вперед и 9 назад) и электроуправляемой гидравликой с опциональной системой Hydra Flow Plus производительностью 208 л/мин.

Тракторы тягового класса 5 применяют для почвообрабатывающих, транспортных и других сельскохозяйственных работ.

ОАО «МТЗ» производит энергонасыщенный трактор Беларус-3022 и его модификации, которые комплектуются дизельными двигателями S40E 8.7LTA мощностью 300 л.с. (производство Detroit Diesel Corporation) и BF06M1013FC мощностью 303 л.с. (производство Deutz). Трактор имеет универсальную гидронавесную систему с джойстиковым управлением на базе аксиально-плунжерного регулируемого насоса фирмы Bosch Rexroth с пятисекционным распределителем и электрогидравлическим управлением с возможностью программирования функций гидросистемы (EHS), электрогидравлическим регулятором управления передним и задним навесным устройством.

Одним из основных поставщиков тракторов класса 5 является ЗАО «ПТЗ» (Петербургский тракторный завод). С 1962 года предприятие выпускало трактор К-700 («Кировец»), с 1975 г. – К-701, а с 2000 г. – современный энергонасыщенный экономичный колесный трактор К-744 и его модификации. В базовой комплектации К-744 оснащен двигателем ЯМЗ-238НД5 (300 л.с.), а гидросистема навесного оборудования трактора имеет шестеренчатый маслонасос постоянной производительности с четырехсекционным гидрораспределителем фирмы Bosch (на три пары выводов) для подключения сельскохозяйственных машин и орудий. Другие возможные варианты комплектации позволяют оснащать трактор К-744 двигателем фирмы Mercedes OM-457LA (354 л.с.), маслонасосом с регулируемым расходом рабочей жидкости фирмы Danfoss и пятисекционным гидрораспределителем фирмы Bosch (на четыре пары выводов) для сельскохозяйственных агрегатов.

В 2005 году ЗАО «Агротехмаш» представило новую серию колесных тракторов тягового класса 5 – K5000 ATM мощностью 280 л.с., а в 2007 г. был налажен серийный выпуск этих тракторов под брендом TERRION. ATM 5280 комплектуется дизельным двигателем Deutz (Германия) с водяным охлаждением BF 6M 1013 FC номинальной мощностью 270 л.с., трансмиссией ZF (Германия), передним мостом Carraro (Италия) и гидравликой Bosch (Германия).

Тракторы тягового класса 6 используются для работы на полях большой площади, где требуется выполнение энергоемких работ, таких как мелиорация.

Тракторы тягового класса 8 в основном представлены тяжелыми энергонасыщенными полноприводными тракторами К-9000 (семейства «Кировец») с шарнирно-сочлененной рамой. Выполняемые К-9000 основные сельскохозяйственные операции – вспашка загонными и оборотными плугами, глубокое рыхление чизельными плугами, боронование дисковыми и ротационными боронами, культивация и лущение стерни культиваторами, обработка почвы комбинированными орудиями, посев механическими сеялками, посев пневматическими посевными комплексами, работа с перегрузчиками зерна, внесение удобрений, а также транспортные и другие работы (землеройные, планировочные, мелиоративные, снегозадержание, трамбовка силосных ям и т.д.).

Классификация тракторов. Современные сельскохозяйственные тракторы классифицируют следующим образом:

- по назначению:

- на тракторы *общего назначения* (Беларус-3022, Беларус-2022, Беларус-1525, ХТЗ-181 и др.) – применяют для выполнения основных сельскохозяйственных работ при возделывании сельскохозяйственных культур (вспашка, дискование, сплошная культивация, боронование, посев, уборка). Эти тракторы отличаются от других малым дорожным просветом и высокой мощностью двигателя;

- *универсально-пропашные* (ХТЗ-16131, ЛТЗ-155, Беларус-1221/1222 и др.) – используют при уходе за пропашными культурами и выполнении других сельскохозяйственных работ. У некоторых универсально-пропашных тракторов предусмотрены сменные ведущие колеса с широкими шинами для выполнения работ общего назначения и с узкими шинами для работ в междурядьях. Чтобы не повредить растения, тракторы имеют большой дорожный просвет и ширину колеи, регулируемую соответственно ширине междурядий;

- *специальные тракторы* – это модификации какого-либо трактора общего назначения или универсально-пропашного, используются при выполнении определенного вида работ (на виноградниках, хлопчатнике) или разных работ, но в строго определенных условиях (на болотистых почвах, в горном земледелии). Например, специальный трактор Беларус-920Р предназначен для механизации возделывания риса; Беларус-80Х – для выполнения работ по возделыванию хлопчатника, уборки хлопка-сырца в междурядьях 90...460 см и других работ в зоне хлопководства; Беларус-921 (садоводческий колесный трактор тягового класса 1,4 с колесной формулой 4 $\frac{1}{2}$ 4) – для выполнения комплекса работ по возделыванию садов и виноградников, работы с фрезой и опрыскивателями, ряда механизированных работ в животноводстве (заготовка и раздача кормов), а также в промышленности, строительстве, коммунальном хозяйстве и на транспорте;

- по конструкции ходовой части:
 - на *колесные тракторы*, ходовая часть которых оборудована колесными двигателями.

Колесные тракторы могут иметь два ведущих колеса, т.е. один ведущий мост, например, МТЗ-80, Беларус-950, и четыре ведущих колеса (два ведущих моста) для улучшения тяговых качеств и повышения проходимости, например МТЗ-82, Беларус-1522. Общее число колес, число ведущих колес и их размеры отражает «колесная формула». Так, «классический» четырехколесный трактор с передними управляемыми колесами меньшего диаметра и задними ведущими большего диаметра имеет колесную формулу 4К2, где цифра 4 показывает общее число колес, а цифра 2 – число ведущих колес. Если при тех же данных и передние колеса ведущие, но меньшего диаметра, трактор будет иметь колесную формулу 4К4а, где вторая цифра 4 означает, что трактор имеет четыре ведущих колеса (все колеса ведущие), а буква «а» указывает на меньший диаметр передних ведущих колес. Тракторы со всеми четырьмя ведущими колесами одного диаметра имеют колесную формулу 4К4б, где буква «б» указывает на равенство диаметров передних и задних колес. Трактор с одним или двумя сближенными передними управляемыми колесами имеет колесную формулу 3К2.

Колесный трактор по сравнению с гусеничным более универсален, легче, дешевле в изготовлении и эксплуатации. Однако на переувлажненных и рыхлых почвах колесный трактор не может быть использован так эффективно, как гусеничный. Вес гусеничного трактора распределяется на большую опорную площадь, чем вес колесного, поэтому его удельное давление на почву меньше. Специально для работы в тяжелых полевых условиях разработан так называемый полугусеничный ход-съемный гусеничный движитель, устанавливаемый на ведущий мост колесного трактора;

- *гусеничные тракторы*, ходовая часть которых имеет гусеничный движитель. У гусеничного трактора для лучшего сцепления с почвой одновременно погружается в почву много почвозацепов, а у колесного – только несколько. Эти преимущества повышают тяговые качества и проходимость гусеничного трактора на увлажненных и рыхлых почвах. Гусеничный трактор меньше буксует и меньше уплотняет почву;

- по типу остова:
 - на *рамные тракторы*, остов которых представляет собой клепаную или сварную (например, Беларус-2103) раму;
 - *полурамный остов* состоит из соединенных между собой облегченной короткой полурамы и корпусных деталей силовой передачи. Полурама является опорой для двигателя, к ней также крепится ось передних колес. Широкое распространение полурамный остов нашел на универсально-пропашных тракторах. Он обладает достаточной жесткостью и прочностью и в то же время имеет несколько меньшую массу, чем рамный остов;

– *безрамные тракторы*, остов которых представляет собой соединение корпусов отдельных механизмов. Примером трактора безрамной конструкции может служить Беларусь-132 Н – 4-колесный трактор с шарнирно сочлененным остовом по схеме 4½4, с постоянно включенным передним и отключаемым задним мостами. Остов трактора состоит из корпусов муфты сцепления, переднего моста, шарнирно сочлененного узла и заднего моста.

В международной практике для классификации тракторов используется конструктивный признак трактора – категория навесного устройства, которая устанавливается по значению максимальной тяговой мощности, полученной при испытании трактора в соответствующей комплектации. По стандарту ИСО 730/2-82 устанавливаются четыре категории навесного устройства.

1.2. ОБЩЕЕ УСТРОЙСТВО ТРАКТОРА

Трактор состоит из механизмов различных групп, находящихся между собой в определенном взаимодействии. Конструкция и расположение этих механизмов могут быть различными, но принципы их действия аналогичны.

Механизмы трактора можно разделить на следующие основные группы: двигатель, силовая передача, ходовая часть, механизмы управления, рабочее и вспомогательное оборудование (рис. 1.2).

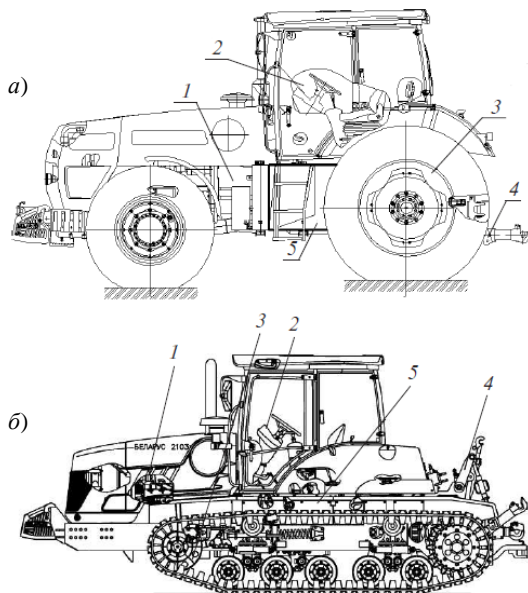


Рис. 1.2. Общий вид трактора:

а – колесного; *б* – гусеничного; 1 – двигатель; 2 – органы управления;
3 – ходовая часть; 4 – рабочее и вспомогательное оборудование; 5 – силовая передача

Двигатель 1 предназначен для преобразования химической энергии сгорающего в нем топлива в механическую энергию. На современных отечественных тракторах применяют в основном двигатели внутреннего сгорания, которые обычно устанавливают на передней части рамы.

Силовая передача 5 передает крутящий момент от коленчатого вала двигателя к ведущим колесам. Она состоит из следующих механизмов: главная муфта сцепления, соединительный вал, коробка передач, главная передача, дифференциал, конечные и карданные передачи.

Механизмы управления 2, воздействуя на ходовую часть, изменяют направление движения трактора, останавливают и удерживают его в неподвижном положении. К ним относятся механизм поворота и тормоза.

Ходовая часть 3 обеспечивает поступательное движение трактора, а также необходимую силу тяги на крюке. Ходовая часть состоит из ведущих и направляющих колес или гусеничного хода. В нее входят остов (рама), ведущие колеса, подвеска. Двигатель, механизмы силовой передачи и ходовой части трактора крепятся на раме.

Ходовая часть и механизм управления колесного трактора состоят из остова, переднего моста, ведущих и направляющих колес и рулевого управления. У колесного трактора между главной и конечной передачами установлен дифференциал.

Рабочее оборудование трактора 4 состоит из гидравлической навесной системы, прицепного устройства, вала отбора мощности и приводного шкива.

Навесная система – это группа механизмов, служащая для крепления навесных машин на трактор и управления их опусканием и подъемом.

Прицепное устройство позволяет осуществлять буксировку различных прицепных машин и орудий.

Вал отбора мощности используется для приведения в действие рабочих органов некоторых машин (силосоуборочного, картофелеуборочного комбайнов и др.) при одновременном перемещении их по полю.

К вспомогательному оборудованию трактора относят кабину с подвесным сиденьем, капот, приборы освещения и сигнализации, системы отопления и вентиляции, компрессор и т.д.

1.3. ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ТРАКТОРАМ

Тракторы должны отвечать определенным эксплуатационным требованиям, базирующимся на научно обоснованных свойствах и показателях. К числу этих требований относятся, прежде всего, обеспечение высокой производительности и экономичности, выполнение всего комплекса сельскохозяйственных работ качественно, в наилучшие агротехнические сроки.

Важное значение имеют требования агроэкологического характера, связанные с засорением атмосферы вредными компонентами, содержащимися в выпускных газах двигателей, и воздействием ходовой части этих машин на почву. Ходовая часть уплотняет почву, что отрицательно влияет на ее пло-

дородие и урожайность культур. Поэтому снижение отрицательного воздействия тракторов на почву – одно из важнейших эксплуатационных требований.

Производительность трактора, работающего в агрегате с сельскохозяйственными машинами, зависит от ширины захвата машин, мощности тракторного двигателя, тягового сопротивления машин, средней скорости движения машинно-тракторного агрегата (МТА) и других факторов. В связи с этим производительность агрегата определяется энергонасыщенностью и тягово-сцепными свойствами тракторов. Кроме того, на производительность влияет степень утомляемости тракториста, которая, в свою очередь, зависит от плавности хода трактора, защищенности кабины от шума, газов, пыли и температуры окружающей среды, легкости управления и обслуживания, обзорности кабины, т.е. от так называемых эргономических свойств трактора, характеризующих условия труда тракториста и обслуживающего персонала.

Для перевозки сельскохозяйственных грузов кроме автомобилей используют и тракторы, преимущественно колесные, в агрегате с прицепами и полуприцепами. В связи с этим к тракторам предъявляют те же требования, что и к автомобилям, в частности, обеспечение безопасности движения и хорошей плавности хода на повышенных скоростях, наличие средств сигнализации автомобильного типа и т.п.

Требования, направленные на обеспечение высокой производительности, должны выполняться совместно с агротехническими требованиями. Эти требования взаимосвязаны.

Агротехнические требования, предъявляемые к тракторам сельскохозяйственного назначения:

- обеспечение проходимости машин по любой поверхности и в междурядьях пропашных культур;
- соблюдение необходимых диапазонов тягового усилия и скорости движения, а также маневренности;
- минимальное вредное воздействие ходовой части на почву;
- качественное выполнение технологических процессов.

Количественные характеристики основных агротехнических требований следующие:

1) буксование движителей гусеничных тракторов и колесных с двумя и четырьмя ведущими колесами должно быть не более 3, 14 и 16% соответственно;

2) давление движителей на почву согласно ГОСТ 29655–86 при наименьшей влагоемкости (НВ) почвы различного механического состава в слое от 0 до 30 см допускается согласно данным, приведенным в табл. 1.2;

3) дорожный просвет (наименьшее расстояние по вертикали от опорной поверхности до элементов конструкции трактора) должен быть не менее 36 см у гусеничных тракторов и 47 см под задним мостом у универсально-пропашных тракторов;

4) агротехнический просвет (расстояние по вертикали от опорной поверхности до наименее удаленных элементов конструкции трактора над рядом культурных растений) должен составлять 40...55 см для основных низкосте-

белых культур (картофель, свекла и др.) и 65...75 см (при портальной конструкции остова) для высокостебельных культур (кукуруза, подсолнечник и др.);

5) защитная зона (расстояние по горизонтали от середины ряда до края колеса или гусеницы трактора, зависящее от фазы развития растений и вида обработки) при возделывании пропашных культур должна быть 12...15 см (минимальная);

6) колея и габаритные размеры трактора должны обеспечивать взаимную конструктивную увязку с агрегируемыми сельскохозяйственными машинами, а также возможность работы универсально-пропашных тракторов в междурядьях 45, 60, 70, 90 см и на транспортных работах;

7) наименьший радиус поворота трактора должен составлять 3...4,5 м для колесных универсально-пропашных тракторов, 6,5...7,5 м для колесных тракторов общего назначения и 2...2,5 м для гусеничных тракторов.

1.2. Максимальное давление на почвы движителей сельскохозяйственных машин

| Влажность почвы в слое 0...30 см | Максимальное давление на почву колесного и гусеничного движителей, кПа, не более | | Нормальное напряжение в почве на глубине 0,5 м, кПа, не более | |
|----------------------------------|--|----------------------|---|----------------------|
| | Весенний период | Летне-осенний период | Весенний период | Летне-осенний период |
| Свыше 0,9 НВ | 80 | 100 | 25 | 30 |
| Свыше 0,7 до 0,9 НВ включ. | 100 | 120 | 25 | 30 |
| Свыше 0,6 до 0,7 НВ включ. | 120 | 140 | 30 | 35 |
| Свыше 0,5 до 0,6 НВ включ. | 150 | 180 | 35 | 45 |
| 0,5 НВ и менее | 180 | 210 | 35 | 50 |

Примечания. 1. Для супесчаных почв нормы максимального давления на почву увеличиваются на 20%.

2. Для техники, используемой на почвах с влажностью 0,9 НВ, нормы максимального давления увеличивают:

– на 25...15% – при нагрузке на единичный колесный движитель не более 6 и 16 кН соответственно;

– на 10% – при нагрузке на единичный гусеничный движитель менее 25 кН.

3. Для колесных движителей, имеющих шины с высотой рисунка протектора не более 25%, нормы максимального давления на почву увеличивают на 15%.

2. СИЛОВЫЕ ПЕРЕДАЧИ ТРАКТОРОВ

Силовые передачи тягово-транспортных машин – это физические системы (механические, гидромеханические, электромеханические) для передачи и преобразования механической энергии двигателя к исполнительным механизмам на всех необходимых силовых и скоростных режимах технологических процессов, выполняемых тягово-транспортными машинами. При этом, как правило, силовые передачи осуществляют на исполнительных механизмах увеличение силовых параметров передаваемой энергии (крутящих моментов, сил) при одновременном снижении скоростных параметров (угловых и линейных скоростей). Силовые передачи обеспечивают согласованную и эффективную работу двигателя и исполнительных механизмов по силовым и кинематическим параметрам.

У сельскохозяйственных тракторов силовые передачи многоприводные, передают и преобразовывают механическую энергию к двигателям (ведущим колесам и гусеницам), ко всем видам отборов мощности на приводы активных рабочих органов агрегируемых сельхозмашин и их управление (подъем и опускание), а также на усиление или исполнение силовых управляющих функций оператора (рулевое управление, управление сцеплением, коробкой передач, дифференциалом и др.). Силовые передачи к двигателям и механическим отборам мощности имеют более распространенное название – трансмиссии.

На тракторах в большей мере распространены и известны механические ступенчатые трансмиссии. Реже используются гидромеханические и электромеханические трансмиссии.

Основная функция трансмиссии на тракторе – эффективное согласование работы двигателя с двигателями (ведущими колесами и гусеницами) и со всеми видами отбора мощности на привод и управление агрегируемых машин на всех необходимых режимах – трогании с места, разгоне МТА, установившемся движении на тяговых и тягово-приводных работах и торможении.

На тракторах, как и на всех тяговых машинах, трансмиссия появилась вместе с ДВС, имеющим, наряду с относительно высоким КПД, узкий рабочий диапазон скоростного регулирования (18...35% номинальной частоты вращения коленчатого вала). До появления ДВС на тягово-транспортных машинах применялись паросиловые установки, у которых вал установки и вал ведущего колеса совпадали.

К настоящему времени в мировом и отечественном тракторостроении сложились несколько типов тракторных трансмиссий (рис. 2.1).

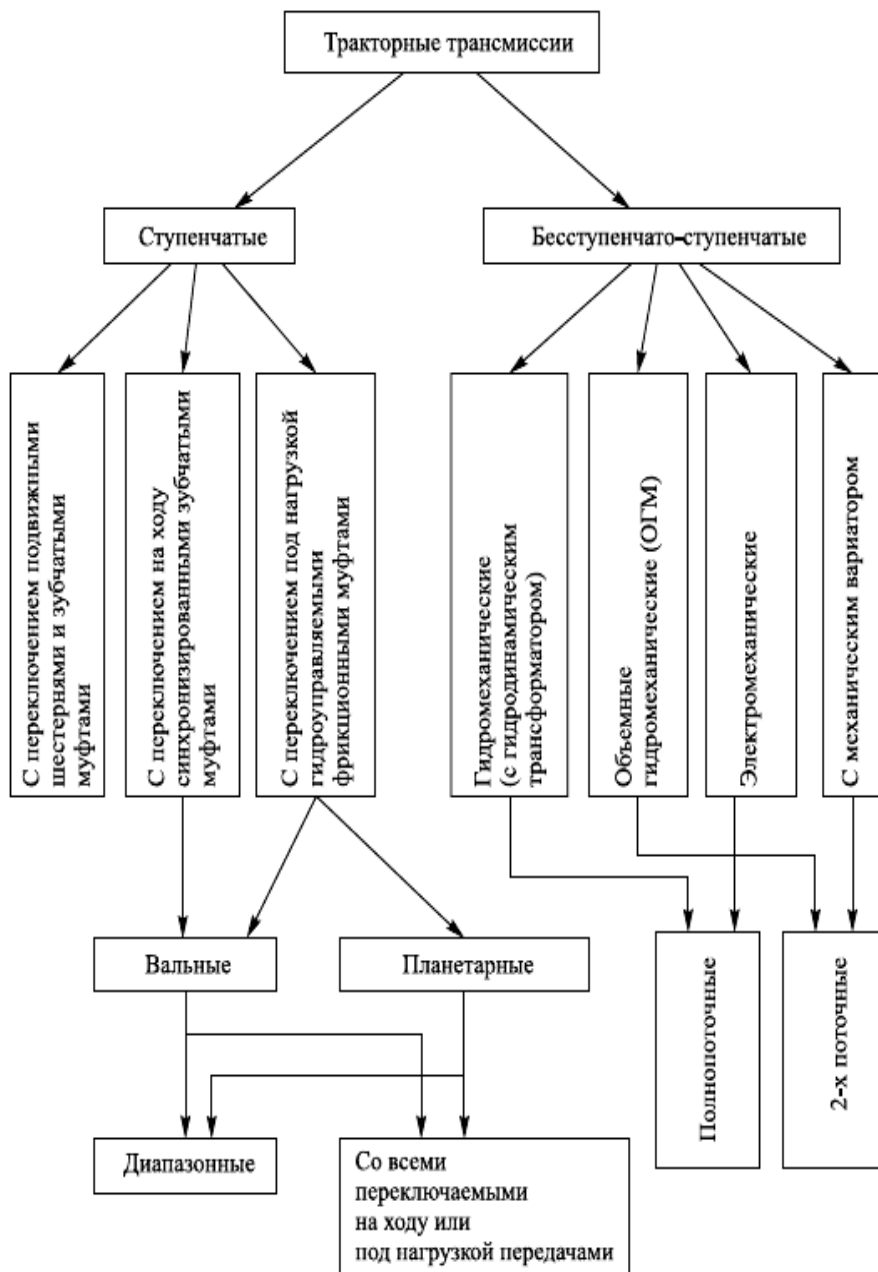


Рис. 2.1. Типы тракторных трансмиссий

2.1. МЕХАНИЧЕСКИЕ ТРАНСМИССИИ

Рассмотрим подробнее основные типы современных тракторных трансмиссий и их основные особенности.

Механические трансмиссии представляют собой системы из соединенных в определенной последовательности валов, зубчатых, фрикционных, планетарных и дифференциальных передач. В целом механическая трансмиссия состоит из двух параллельных приводов от одного двигателя – привод движителей и привод механического (ВОМ) и гидростатического (ГСОМ) отборов мощности.

Первый привод представляет собой последовательно соединенные и завершенные в функциональном и монтажном отношении сборочные единицы – сцепление, коробка передач (КП), задний (ЗМ) и передний (ПВМ) ведущие мосты. Второй привод содержит валы, зубчатые передачи и пусковые устройства, соединяющие вал тракторного двигателя с валами отбора мощности (задним, боковым, в некоторых вариантах и передним) и гидронасосом ГСОМ, минуя привод движителей.

Пусковым устройством в приводе движителей является сцепление, основной функциональный элемент которого – фрикционная одно- или многодисковая муфта сухого трения или трения в масле. Основным функциональным параметром муфты сцепления – ее коэффициент запаса β как отношение ее максимального момента трения $M_{ф. \max}$ к номинальному моменту M_n

двигателя трактора, т.е. $\beta = \frac{M_{ф. \max}}{M_n} \approx 2,5 - 3,5$.

Такое соотношение моментов $M_{ф. \max}$ и M_n позволяет муфте сцепления при трогании трактора с места и преодолении временных перегрузок не только использовать крутящий момент двигателя, но и инерционный крутящий момент от накопленной кинетической энергии вращающихся масс двигателя, его маховика и масс деталей трансмиссии, постоянно соединенных с валом двигателя. Величина этого момента описывается выражением:

$$M_n = I_{д. \text{сум}} \frac{dw_d}{dt}, \quad (2.1)$$

где $I_{д. \text{сум}} = I_d + I_m + I_{тр}$ – суммарный момент инерции масс двигателя, его маховика и деталей трансмиссии соответственно, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; w_d – угловая частота вращения вала двигателя, с^{-1} ; t – время, с.

Коробка передач передает силовой поток двигателя от сцепления к ведущим мостам, одновременно обеспечивая ступенчатое регулирование передаточных чисел трансмиссии на всех необходимых скоростях и диапазонах работы трактора, переключение направлений движения трактора с переднего хода на задний и обратно.

Кинематически коробка передач строится из двух последовательно соединенных многоступенчатых редукторов, в каждом из которых на его

первичном, промежуточном и вторичном валах устанавливаются зубчатые передачи. Общее количество ступеней коробки передач образуется умножением количества ступеней первого редуктора на второй и достигает в современных отечественных трансмиссиях 24 на переднем ходу и 8 – на заднем. Для получения замедленных («ползучих») скоростей и скоростей заднего хода вводятся во втором редукторе валы пониженных передач и заднего хода. Общее количество передач в современных отечественных трансмиссиях достигает 24 на переднем ходу и 8 – на заднем.

Основными функциональными параметрами коробок передач являются:

- передаваемая мощность N_d и крутящий момент M_d на первичном валу;
- диапазон регулирования передаточных чисел в абсолютных единицах от максимального u_{\max} до минимального u_{\min} значений и в относительных единицах:

$$D_{\text{КП}} = \frac{u_{\max}}{u_{\min}}, \quad (2.2)$$

как на переднем, так и на заднем ходу.

Ведущие мосты в трансмиссии обеспечивают нерегулируемую передачу и преобразование силового потока от коробки передач на валы ведущих колес. В своих конструкциях ведущие мосты содержат зубчатые механизмы:

- главную передачу для распределения силового потока по бортам;
- дифференциальный механизм для перераспределения силовых потоков между бортами при повороте трактора;
- конечные зубчатые или зубчато-планетарные передачи для окончательного преобразования силовых потоков и формирования силовых потоков движителей.

Как правило, у сельскохозяйственных тракторов не более двух ведущих мостов, один из которых постоянно действующий (основной), второй – подключаемый. В последние годы появились конструкции тракторов высоких мощностей с тремя ведущими мостами, но широкого распространения они не получили. У тракторов классической схемы (БЕЛАРУС) постоянно действующий задний мост, передний мост – подключаемый в командном или автоматическом режиме. У тракторов с «ломающей» рамой (с колесами одного размера) постоянно действующим является передний мост, задний мост – подключаемым.

Ведущие мосты тракторов оборудуются механизмами блокировки дифференциалов, остановочными тормозами и механизмами поворота (у гусеничных тракторов). Основные функциональные параметры ведущих мостов их передаточные числа $u_{\text{вм}}$ и КПД $\eta_{\text{вм}}$.

Приводы отбортов мощности содержат валопроводы, соединяющие вал двигателя с механизмами преобразования силового потока. В их число входят один или два зубчатых редуктора для обеспечения необходимой (стан-

дартной) частоты вращения хвостовика ВОМ и насоса ГСОМ, механизмы пуска приводов (фрикционная муфта или тормоз планетарного механизма), тормоз для остановки привода. Основными функциональными параметрами приводов отборов мощности являются их передаточные числа $u_{\text{ВМ}}$ и КПД $\eta_{\text{ВМ}}$.

Механические трансмиссии оснащаются развитыми системами управления ее механизмами. У тракторов малых мощностей системы управления сцеплением, коробкой передач, приводами ПВМ и ВОМ, блокировкой дифференциалов и тормозными механизмами механические. У тракторов средних и высоких мощностей управление сцеплением механическое с сервоприводом (механическим или гидравлическим), управление синхронизированными коробками передач механическое, у коробок передач с переключением под нагрузкой, приводами ПВМ и ВОМ, блокировкой дифференциалов – электрогидравлическое (от гидронасоса трансмиссии) с элементами автоматизации.

Управление остановочными тормозами является механо-гидростатическим. На рисунках 2.2 и 2.3 представлены кинематические схемы трансмиссий современных тракторов БЕЛАРУС-1522 и БЕЛАРУС-3525, их конструктивные и функциональные параметры приведены в табл. 2.1 и 2.2.

За свою столетнюю историю тракторные механические трансмиссии прошли долгий путь своего развития и совершенствования от простейших одноступенчатых до современных многоступенчатых. Их формирование шло в направлении расширения диапазона ступенчатого регулирования и числа передач, обеспечения одновременно работы приводов движителей и отборов мощности, увеличения числа мест отборов мощности, совершенствования устройств управления элементами трансмиссий (сцеплением, коробкой передач, дифференциалами ведущих мостов, приводами ПВМ и ВОМ, зубчатыми и фрикционными передачами).

К настоящему времени отдельные типы механических трансмиссий находятся на разных стадиях жизненного цикла. Механические с переключением передач подвижными шестернями с остановкой трактора завершили свой жизненный цикл и на новых моделях тракторов уже не используются. Близки к завершению жизненного цикла синхронизированные трансмиссии; они еще находят применение на тракторах малой и средней мощности. Перешли зенит своего жизненного цикла трансмиссии с переключением передач под нагрузкой гидроприводными фрикционными муфтами. Основная причина завершения жизненных циклов механических трансмиссий – наличие ступенчатого регулирования передаточных чисел и жесткая механическая связь двигателя с исполнительными механизмами. Это не может обеспечить нагрузку тракторного двигателя, близкую к номинальной, увеличивает время работы трактора на переходных режимах, ограничивает рост производительности МТА и снижение удельного расхода топлива, сдерживает комплексную автоматизацию МТА и не может обеспечить управление трансмиссий в реальном времени, что в конечном итоге затрудняет внедрение технологий точного земледелия.

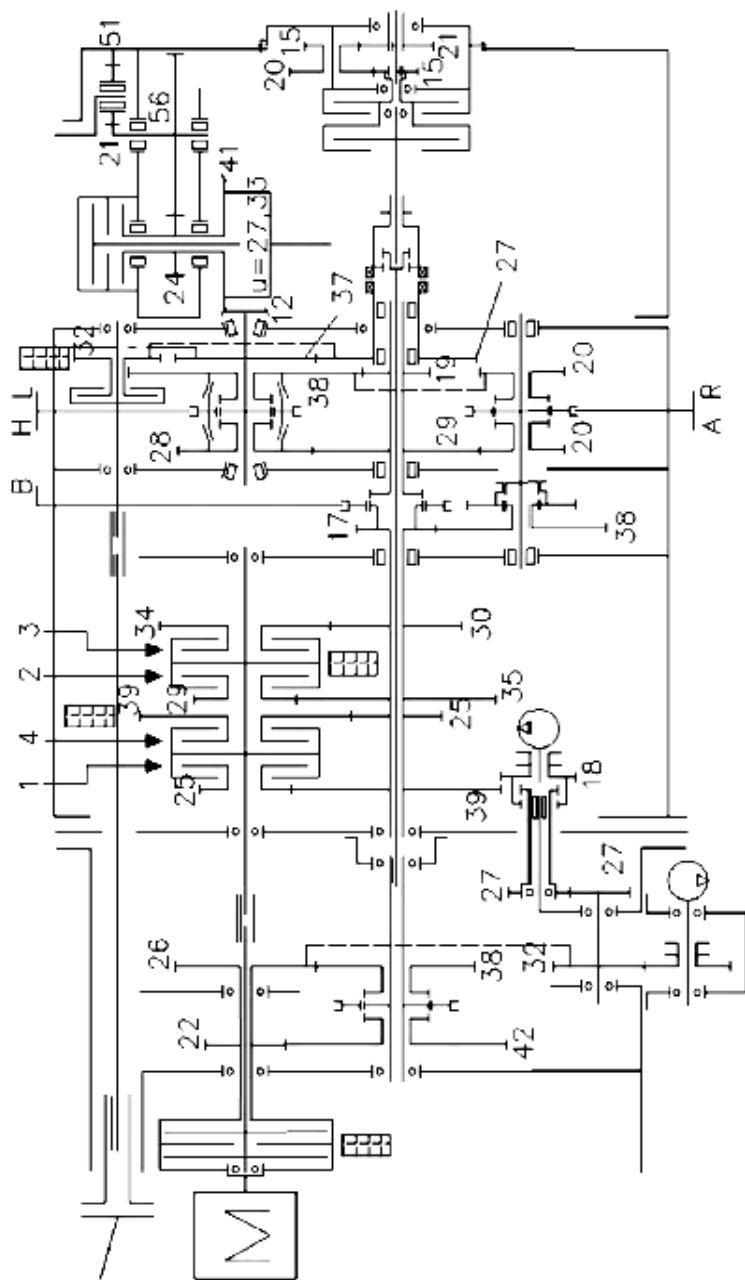


Рис. 2.2. Кинематическая схема трактора БЕЛАРУС-1522

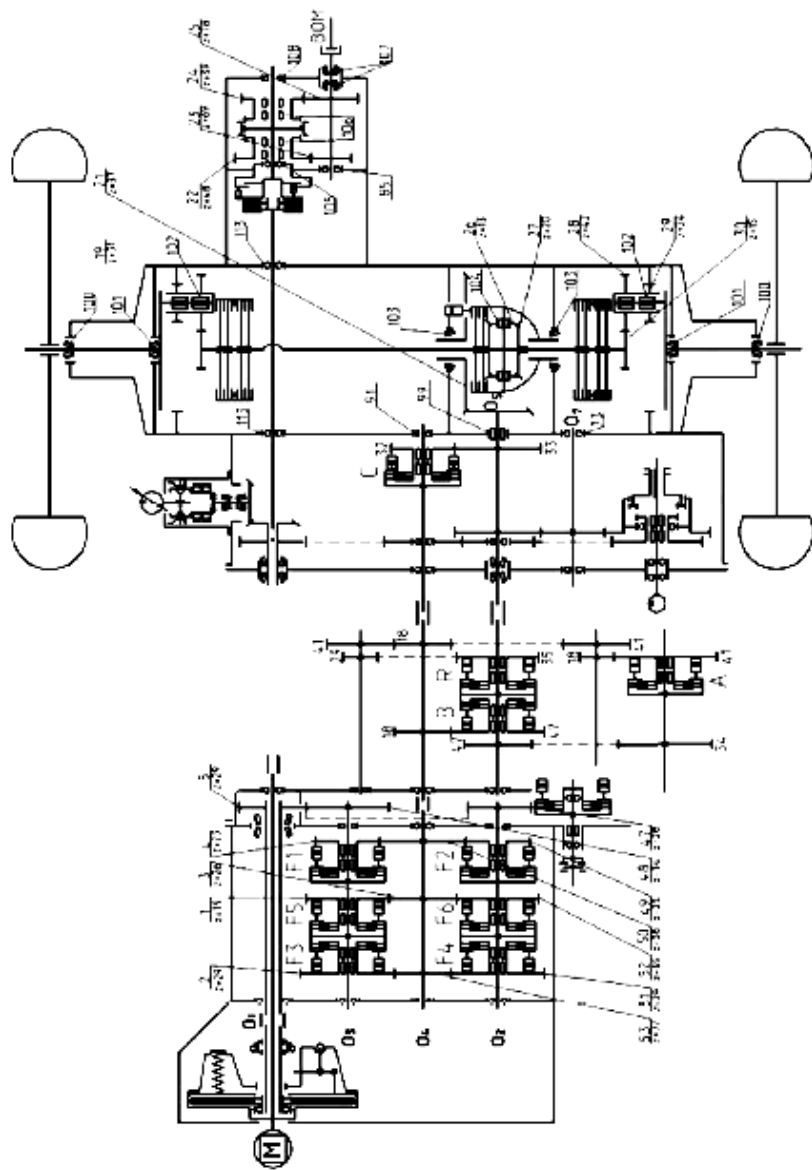


Рис. 2.3. Кинематическая схема трактора БЕЛАРУС-3525

2.2. ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПЕРЕДАЧИ

Гидромеханические передачи образуются объединением в одной силовой передаче гидравлической (гидродинамической или гидрообъемной) и механической передач. Гидравлические передачи представляют собой устройства, состоящие из гидронасоса и одного или нескольких гидромоторов. В силовых передачах гидропередачи выполняют функцию автоматического бесступенчатого регулирования частоты вращения и крутящего момента в силовом потоке. Применение гидропередач в тяговых машинах позволяет сократить структуру механических передач, полностью или частично исключить ступенчатое регулирование, снизить динамическую нагруженность силовых передач и упростить их управление.

Гидравлические передачи по способу преобразования потока рабочей жидкости подразделяются на гидродинамические и гидрообъемные (гидростатические). Первые подразделяются на гидромуфты и гидротрансформаторы, вторые – по типу гидрообъемных машин. Подробное описание типов конструкций, назначение и свойства гидропередач приведены в специальной литературе.

Гидромеханические передачи в полнопоточном варианте на тяговых машинах стали использоваться с первой четверти XX века, а пика своего применения они достигли в 1960 – 1970-х гг. С 1950-х годов началось их использование на зарубежных и отечественных промышленных тракторах высоких тяговых классов и мощностей. На сельскохозяйственных тракторах гидромеханические передачи в полнопоточном варианте широкого применения не получили.

В отечественном сельскохозяйственном тракторостроении гидродинамические и гидрообъемные передачи так и не вышли из стадии НИОКР. В зарубежном сельскохозяйственном тракторостроении так и остались на стадии мелких серий и поставок по заказу.

Гидромеханические полнопоточные передачи на сельскохозяйственных тракторах не выдержали конкуренции с механическими ступенчатыми передачами с переключением под нагрузкой, уступив им по КПД, стоимости и топливной экономности.

Повторно интерес тракторостроителей к гидромеханическим передачам возник с появлением двухпоточных гидромеханических передач, у которых по гидропередаче реализуется только часть мощности тракторного двигателя, шире диапазон бесступенчатого регулирования и выше КПД. На сельскохозяйственных тракторах распространение получили двухпоточные объемные гидромеханические передачи (ОГМП) с внешним разделением потоков мощности. По своим схемам эти ОГМП подразделяются на ОГМП с дифференциалом на входе (схема А1), с дифференциалом на выходе (схема А2) и с дифференциалом на входе и выходе (схема В).

Серийное производство сельскохозяйственных тракторов с ОГМП впервые было реализовано на тракторах FEND корпорации AGCO GmbH (Германия) в 1996 г. В настоящее время все тракторы этой фирмы мощностью 51...265 кВт выпускаются с ОГМП. Схема ОГМП FEND Vario представлена на рис. 2.4, а характеристики тракторов с ОГМП FEND Vario приведены в табл. 2.1.

ОГМП FEND Vario выполнены по схеме с дифференциалом на входе (A1). Гидропередача выполнена с одним насосом и двумя моторами (по одному мотору на привод задних и передних колес). Все гидромашины регулируются, реверс обеспечивается обратным наклоном блока насоса. Механическая часть этой ОГМП двухдиапазонная: первый диапазон (0...32 км/ч) для полевых работ, второй (0...50 км/ч) для транспортных работ. Переключение диапазонов осуществляется синхронизированными зубчатыми муфтами при остановке трактора.

Модель FEND 936 Vario (243кВт) на выставке Agritechnika-2005 награждена золотой медалью. Тракторы этой серии выпускаются в двух вариантах: Profi с максимальной скоростью 60 км/ч и Power с максимальной скоростью 40/50 км/ч. С 2016 г. серийно производится новая серия тракторов FEND 1000. Основное новшество – оптимальное распределение крутящего момента на передние и задние колеса для достижения оптимальных значений тяги и тягового усилия.

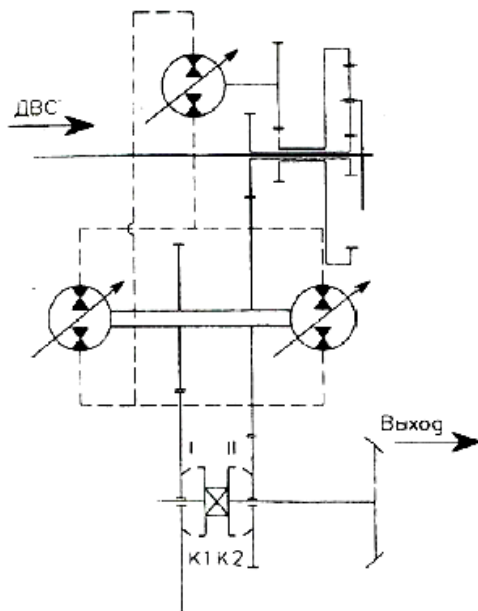


Рис. 2.4. Кинематическая схема трансмиссии Fend Vario

2.1. Тракторы с трансмиссией Fend Vario

| Серия | Мощность двигателя, кВт (л.с.) | Масса трактора/полная масса с балластом, кг | Диапазон скоростей, км/ч |
|-------|--------------------------------|---|--|
| 200 | 51...81 (70...110) | 2780...3930 / 4000...6500 | 0,02...35 вперед / 0,02...25 назад либо 0,02...40 вперед / 0,02...25 назад |
| 300 | 70...92 (95...125) | 4130...4350 / 8000 | 0,02...40 вперед / 0,02...25 назад |
| 400 | 85...114 (115...155) | 5400...5450 / 9000...9500 | 0,02...50 (тяговый): 0,02...24 вперед, 0,01...17 назад; транспортный: 0,02...50 вперед, 0,02...40 назад) |
| 700 | 96...176 (130...240) | 6605...7900 / 11 500...12 500 | 0,02...50 (тяговый): 0,02...28 вперед, 0,01...17 назад; транспортный: 0,02...50 вперед, 0,02...40 назад (при мощности 200...240 л.с. ... до 33) |
| 800 | 162...206 (220...280) | 9300...9450 / 14 000 | 0,02...60 (тяговый): 0,02...35 вперед, 0,01...20 назад; |
| 900 | 176...287 (240...390) | 107 00...10 830 / 16 000 | транспортный: 0,02...60 вперед, 0,02...33 назад) |

Первый гидромотор передает крутящий момент на задний мост, второй приводит передний мост. При достижении скорости до 25 км/ч передний мост отключается, что не допускает потерь на сопротивление приводного механизма переднего моста и повышает эффективность и экономичность трактора.

Старейшей фирмой с производством ОГМП является «Zahnradfabrik» (ZF, ФРГ). Она производит ОГМП на основе схемы с дифференциалом на выходе (схема А2). Однако при этой схеме для покрытия всего требуемого диапазона трактора необходимо в механической части ОГМП иметь несколько диапазонов, в каждом из которых будет реализована схема А2. Фирма ZF по схеме А2 производила 3 типа ОГМП – Ессом, Steyr и CNH, в каждом из которых в механической части имелось 4 диапазона. Кинематическая схема трансмиссии Ессом представлена на рис. 2.5.

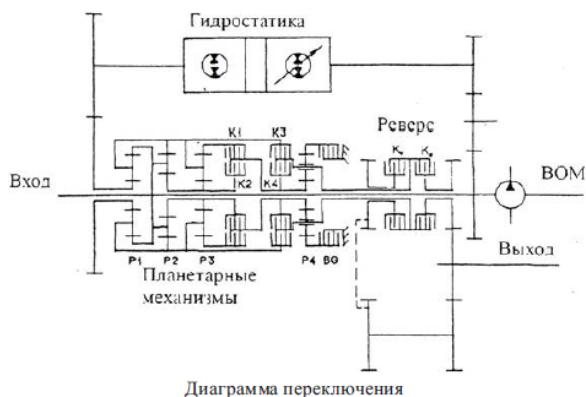


Диаграмма переключения

| | $V, \text{ км/ч}$ | K1 | K2 | K3 | K4 | V_g | K_v | K_r | P1 | P2 | P3 | P4 |
|--------|-------------------|----|----|----|----|-------|-------|-------|----|----|----|----|
| Вперед | 0–6 | * | | | | * | * | | * | * | * | * |
| | 6–12 | | * | | | * | * | | * | * | | * |
| | 12–24 | | * | * | | | * | | * | * | | |
| | 24–48 | | * | | * | | * | | * | * | | |
| Назад | 0–6 | * | | | | * | | * | * | * | * | * |
| | 6–12 | | * | | | * | | * | * | * | | * |
| | 12–24 | | * | * | | | | * | * | * | | |
| | 24–48 | | * | | * | | | * | * | * | | |

Рис. 2.5. Кинематическая схема трансмиссии ZF Ессom

Механическая часть ОГМП Ессom содержит четыре дифференциала, пять фрикционных муфт переключения диапазонов и две муфты переднего и заднего хода. С помощью последних осуществляется быстрый реверс. Во всех ОГМП, выполненных по схеме А2, используется одна регулируемая и одна нерегулируемая гидромашины.

В упомянутых гидropередачах гидромашины имеют малую установочную мощность, составляющую половину мощности двигателя трактора. На выставке Agritechnika 2007 фирма ZF представила и новую модель ОГМП Ессom 5.0, которая предназначена для тракторов мощностью 260...370 кВт. В отличие от предыдущих моделей она имеет серьезные изменения в механической части. Максимальная скорость переднего хода составляет 50 км/ч при частоте вращения входа 2000 мин⁻¹ и 40 км/ч при 1600 мин⁻¹.

Кроме рассмотренных схем А1, А2 и В в практике встречаются ОГМП с переменной структурой, которая указывает, что в каждом из диапазонов механической части может использоваться одна из упомянутых схем: с дифференциалом на входе (А1), с дифференциалом на выходе (А2) или с дифференциалом на входе и выходе (В). На рисунке 2.6 представлена ОГМП переменной структуры Auto Powr трактора John Deere 8345 мощностью 254 кВт, массой 18 т и максимальной скоростью 50 км/ч. Трактор впервые демонстрировался на выставке Agritechnika-2007. Механическая часть имеет четыре

скоростных диапазона, для создания которых применяется четырехзвенный дифференциал, в котором два звена, большая солнечная и коронная шестерни постоянно соединены, соответственно, с двигателем и гидромашиной 2, а два других звена, малая солнечная шестерня и водило могут соединяться с гидромашиной 1 или выходом ОГМП. Диапазоны переключаются двумя зубчатыми синхронизированными и двумя фрикционными многодисковыми муфтами. Обе гидромашины регулируемые.

В первом диапазоне (0...8 км/ч) реализуется схема А1. Переключение с первого на второй диапазон осуществляется при нулевом угле наклона блока гидромашины 1. Во втором диапазоне (8...20 км/ч) реализуется схема В. Переключение со второго на третий осуществляется фрикционными муфтами С-Lo и С-Hi при равенстве их скоростей. В третьем диапазоне (20...40 км/ч) реализуется схема А1, но с другими параметрами, отличными от первого диапазона. Переключение с третьего на четвертый (40...50 км/ч) диапазон осуществляется при нулевом угле гидромашины 1 синхронизированной зубчатой муфтой.

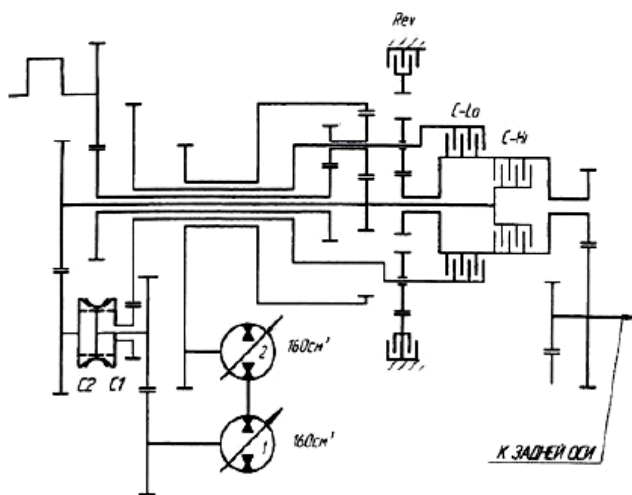


Диаграмма переключения

| | | C1 | C2 | C-Lo | C-Hi | Rev |
|--------|-----|----|----|------|------|-----|
| Вперед | M1 | * | | * | | |
| | M2 | | * | * | | |
| | M3 | | * | | * | |
| | M4 | * | | | * | |
| Назад | M1R | * | | | | * |
| | M2R | | * | | | * |

Рис. 2.6. Кинематическая схема трансмиссии John Deere Auto Powr 8345R

При этом реализуется схема В, но с параметрами, отличными от параметров Диаграмма переключения схемы второго диапазона. По данным фирмы John Deere, при скоростях трактора 8...20 и 40...50 км/ч механическим путем передается от 80 до 100% мощности, что создает высокий КПД. Скорость трактора 50 км/ч обеспечивается при частоте вала двигателя 1750 мин⁻¹, а при 1450 мин⁻¹ максимальная скорость 42 км/ч.

ОГМП переменной структуры WSG-500 фирмы MALI (концерн «Lienherr») была представлена на выставке Agritechnika-2009. Ее назначение – тракторы и транспортные средства мощностью до 380 кВт и скоростью до 62 км/ч.

В ОГМП (рис. 2.7) используются регулируемые аксиально-поршневые гидромашины с наклонным до 45° блоком и рабочим объемом до 422 см³. В механической части этой ОГМП заложены три скоростных диапазона, образуемые четырехзвенным дифференциалом, два звена которого (большая солнечная шестерня и водило) постоянно соединены с двигателем и выходом ОГМП. Два остальных звена (коронная шестерня и водило) имеют переключаемые связи с гидромашинами. Переключение обеспечивается четырьмя многодисковыми муфтами. В первом диапазоне (0–16 км/ч) реализуется схема А1, во втором диапазоне (16...48 км/ч) реализуется схема В, а в третьем (48...62 км/ч) – схема А2. Реверс в WSG-500 осуществляется полнопоточной передачей, в которой гидромашина 2 – насос, а гидромашина 1 – мотор. При этом ОГМП имеет наименьший КПД.

Параметры ОГМП для тракторов мощностью 240...380 кВт приведены в табл. 2.2.

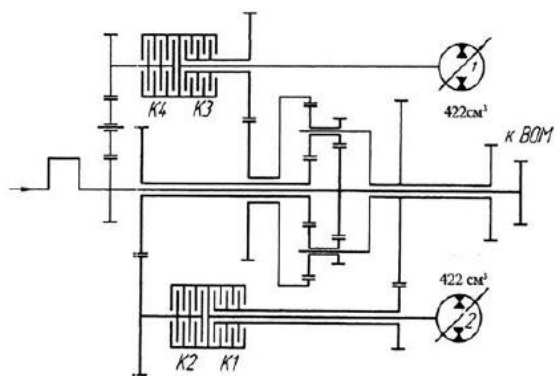


Диаграмма переключения

| | | K1 | K2 | K3 | K4 |
|--------|----|----|----|----|----|
| Вперед | V1 | * | | * | |
| | V2 | | * | * | |
| | V3 | | * | | * |
| Назад | R | * | | | * |

Рис. 2.7. Кинематическая схема трансмиссии Mali WSG 500

2.2. Параметры ОГМП для тракторов мощностью 240...380 кВт

| Показатель | John Deere Auto Powr | Fendt Vario | Mali WSG 500 | ZF Escom 5.0 |
|--|--|---------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| Марка трактора с ОГМП | John Deere 8345R | Fendt Vario 936 | Для тракторов | Террион 7400 ATM |
| Номинальная мощность, кВт (л. с.) | 254 (345) | 243 (330) | 380 (516) | 285 (387) |
| Min-макс эксплуатационная масса, т | 11,5...18,0 | 10,36...18,0 | – | 11...18,5 |
| Число диапазонов вперед/назад | 1/1 | 2/2 | 1/1 | 1/1 |
| Максимальные скорости в диапазонах, км/ч | 50/20 | 34/20 60/33 | 62/16 | 63/56 |
| Тип схемы ОГМП | Переменной структуры | С дифференциалом на входе | Переменной структуры | С дифференциалом на выходе |
| Число скоростных поддиапазонов | 4 | Нет | 3 | 4 |
| Скорости в поддиапазонах, км/ч (при max диапазоне) | 0...8...20/20... 40/40...50 | – | 0...16/16...48/48... 62 | 0...7/7...15/15... 29/29...63 |
| Число и тип муфт, переключающих диапазоны, поддиапазоны и реверс, из них переключаемые под нагрузкой | 2 зубчатые синхр. 3 фрикц. многодиск. | 2 зубчатые синхр. | 4 фрикц. многодиск. | 7 фрикц. многодиск. |
| Число дифференциалов | 2 (1 четырехзвенный) | 1 | все | все |
| Число шестерен, включая дифференциалы | 30 | 12 | 20 | 32 |

| Показатель | John Deere Auto Powr | Fendt Vario | Mali WSG 500 | ZF Escom 5.0 |
|--|--|--|--|--|
| Тип гидромашин | Обе регулируемые, 160 см ² , Saueg | Обе регулируемые, 360 см ² , Saueg | Обе регулируемые, 422 см ² | Регулируемые и нерегулируемые 110/90 см ² |
| Относительная установочная мощность гидромашин: насоса мотора | 1,4 1,4 | 1,6 3...4,3 | 1,8-2 1,8...2 | 0,5 0,5 |
| Абсолютная установочная мощность гидромашин, кВт: насоса мотора | 360 360 | 400 730...1050 | 680...760 680...760 | 200 200 |
| Max мощность, передаваемая гидравлическим путем, % мощности двигателя (исключая разгон) | 50 при скорости 21 км/ч | 72 при скорости 8 км/ч | 45 при скорости 8 км/ч | 50 |
| Max степень использования установочной мощности гидромоторов, % | 36 | 18...24 | 21-23 | 100 |
| Max циркулирующая гидравлическая мощность, % мощности двигателя | Нет | Нет | Нет | 50 |

Окончание табл. 2.2

| | | | | |
|----------------------------|---|---|---|---|
| Показатель | John Deere Auto Powr | Fendt Vario | Mali WSG 500 | ZF Escom 5.0 |
| Выполнение реверса | С помощью фрикционной муфты | Обратным наклоном блока насоса | С помощью полнопоточной передачи | С помощью фрикционных муфт |
| Дополнительные особенности | Для создания 4 поддиапазонов используется четырехзвенный дифференциал при скоростях 8...20 и 40...50 км/ч | Используются специально сконструированные гидромашинны | Используются специально сконструированные гидромашинны при скоростях 12...62 км/ч | В начале каждого поддиапазона циркулирует тах гидравлическая мощность |
| Основные достоинства | Механически передается 80...100% | Простота конструкции механической части, отсутствие переключений при движении | Механически передается 70...100% | Малая установочная мощность гидромашин |
| Основные недостатки | На участке скорости 21...30 км/ч КПД снижен | Большая установочная мощность специальных гидромашин при малой степени ее использования | То же, что и у Fendt, кроме того: недостаточный опыт производства и применения | Сложность конструкции, имеются потери мощности в муфтах |

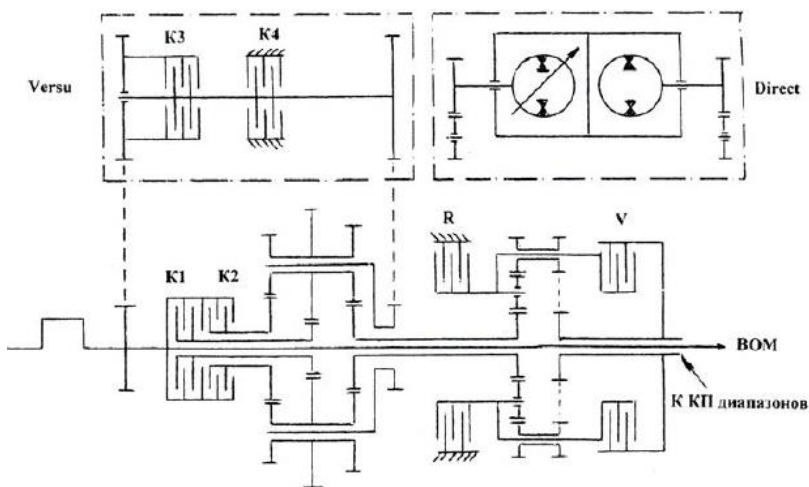


Рис. 2.8. Кинематическая схема трансмиссии Versa и Direct

Для сельскохозяйственных тракторов мощностью 90...265 кВт заслуживают внимания ОГМП фирм Valtra, CNH и MTЗ.

Valtra разработала ОГМП Direct для тракторов мощностью 90...140 кВт серии N и T (рис. 2.8). ОГМП Direct имеет общую базу с механической ступенчатой трансмиссией Versa с переключением под нагрузкой. Общая база состоит из планетарных рядов внешнего зацепления с двумя фрикционными многодисковыми муфтами K1 и K2, механизма переключения переднего и заднего ходов, четырехступенчатого редуктора диапазонов (на схеме не показан). ОГМП Direct образуется заменой блока механических передач, состоящего из муфт K3 и K4, на блок гидropередачи, включающий в себя регулируемую и нерегулируемую гидромашину Linde (75 см³). ОГМП с сочетанием с редуктором диапазонов обеспечивает бесступенчатое регулирование скоростей в четырех диапазонах 0...9, 0...18, 0...30 и 0...50 км/ч при 1650 мин⁻¹. Переключение диапазонов производится при остановке трактора, скорости на реверсе те же, что и на переднем ходу. Использование общей базы для трансмиссии Versa и ОГМП Direct позволяет одновременно производить обе трансмиссии при значительном снижении производственных затрат.

Фирма CNH разработала ОГМП с использованием в механической части двойного сцепления. Это ОГМП устанавливается на тракторы Puma CVX фирмы Case IH, T7000 Auto Command фирмы New Holland, CVT фирмы Steyr мощностью 123...165 кВт (рис. 2.9).

Механические передачи с двойным сцеплением известны еще и под другим названием «преселекторные», т.е. с предварительным выбором ступеней. Каждое из двух соосных сцеплений имеет свой собственный вал для передачи мощности.

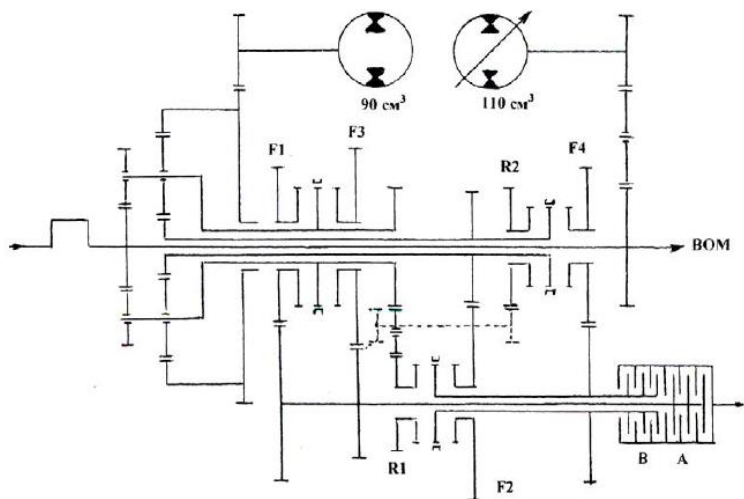


Рис. 2.9. Кинематическая схема трансмиссии CNH

Мощность передается по этим валам только при включении соответствующего сцепления. Одно из сцеплений включает четные передачи, другие – нечетные. На валу механической части ОГМП осуществляется предварительный выбор следующей передачи и соединение соответствующих колес валом. Одновременное включение и выключение сцеплений мощность передается без разрыва потока.

ОГМП фирмы CNH образуется из четырехзвенного дифференциала на входе, двух гидромашин: регулируемого насоса 110 см³ и нерегулируемого мотора 90 см³ (производство Bosch-Rexroth). Механическая часть образует четыре диапазона переднего хода и два диапазона заднего хода. Количество диапазонов переднего хода совпадает с ОГМП ZF-Ессom, однако у последней для переключения используется семь многодисковых муфт, а у CNH только две. Это позволяет снизить потери в механической части и увеличить КПД ОГМП.

На Минском тракторном заводе разработана и изготовлена конструкция ОГМП для сельскохозяйственных колесных тракторов мощностью 60...88 кВт (90...120 л.с.). ГМП содержит две реверсивные аксиально-поршневые гидромашин с наклонным блоком, четырехзвенный дифференциальный механизм, механические передачи, согласующие гидромашин с дифференциальным механизмом и диапазонный редуктор, обеспечивающий режимы полевых работ (0...24 км/ч), транспортных работ (0...50 км/ч) и заднего хода. ОГМП выполнена в габаритах серийных механической ступенчатой коробки передач с переключением под нагрузкой и может устанавливаться на серийные тракторы. Кинематическая схема трактора с ОГМП представлена на рис. 2.10, конструкция трансмиссии с ОГМП – на рис. 2.11.

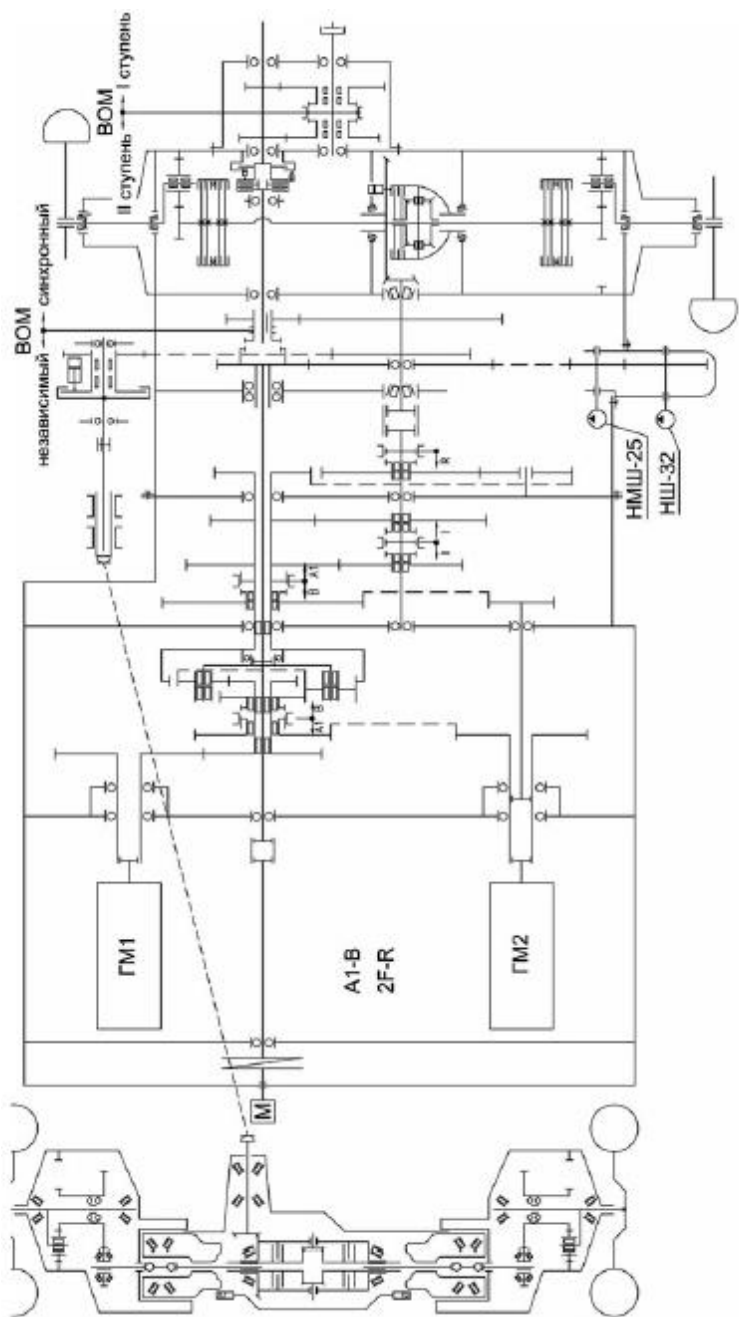


Рис. 2.10. Кинематическая схема трактора БЕЛАРУС с ОГМП

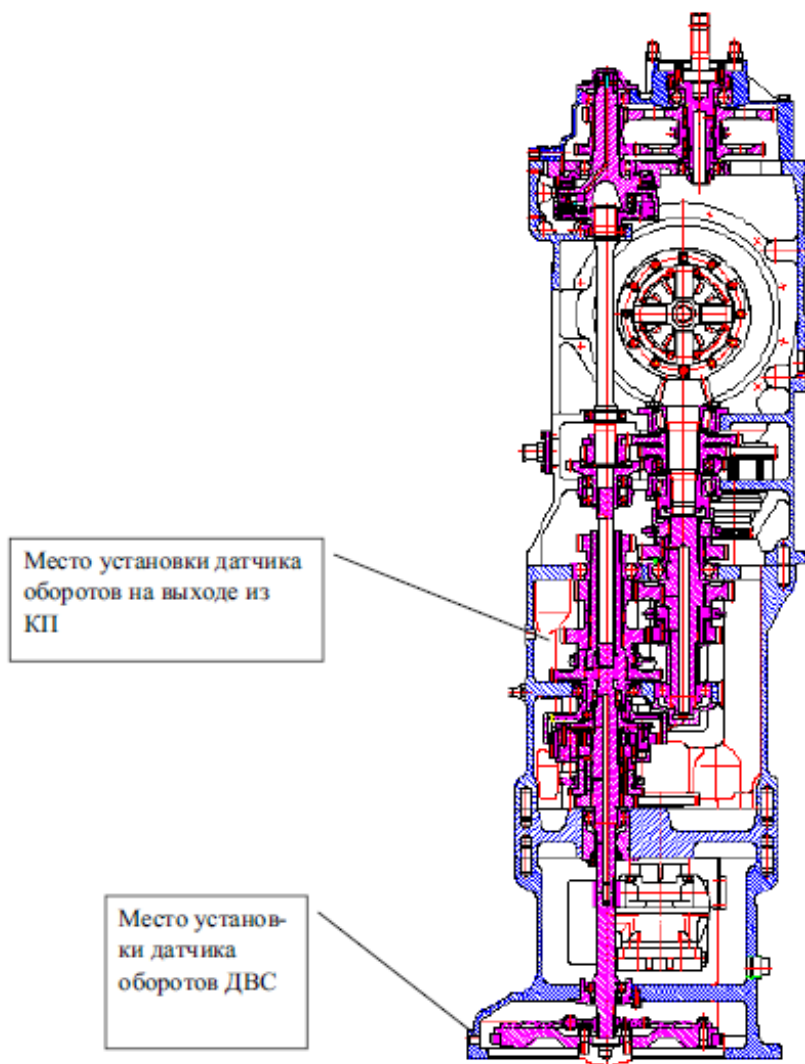


Рис. 2.11. Конструкция ОГМП тракторов БЕЛАРУС

Схема трансмиссии с переменной структурой, в которой предусмотрено переключение со схемы А1 на В. Гидромашины и механическая часть ОГМП размещаются в отдельных корпусах. Переключение схемы с А1 на В и переключение диапазонов осуществляется зубчатыми муфтами. Привод механизмов переключения осуществляется унифицированным гидроцилиндром с серийными тракторами 1222/1522/2022.

Особенностью конструкции ОГМП МТЗ в отличие от существующих схем является малая (до 30%) доля мощности, проходящая по ветви гидромашин, что обеспечивает высокой КПД (до 94%). При установке ОГМП на трактор не требуется главная муфта сцепления. Разъединение двигателя от трансмиссии может осуществляться шунтированием гидромашин или включением нейтрали в диапазонном редукторе. Соединение маховика двигателя с трансмиссией обеспечивается через гаситель крутильных колебаний (рис. 2.11). К сожалению, МТЗ прекратил успешно начатые работы по применению ОГМП на сельскохозяйственных тракторах. Опытный вариант ОГМП так и не был испытан на тракторах 90...120 л.с.

2.3. ПРИМЕРЫ СИЛОВЫХ ПЕРЕДАЧ

2.3.1. КОРОБКА ПЕРЕДАЧ ТРАКТОРА КИРОВЕЦ

Коробка передач автоматическая, шестиступенчатая, с автоматической блокировкой гидротрансформатора, с электрогидравлическим переключением передач без разрыва потока мощности и с постоянным полным приводом на ведущие мосты позволяет изменять скорость движения трактора, осуществлять движение задним ходом, а также обеспечивает привод насоса гидросистемы управления поворотом и навесного устройства. Переключение передач осуществляется в полностью автоматическом режиме, так и в ручном режиме (рис. 2.12).

В режиме «field» переключение передач происходит с I по IV, в режиме «load» с I по VI передачу.

Коробка передач имеет собственный блок управления, установленный в кабине трактора под пластиковой облицовкой, и связан с блоком управления ДВС по CAN-шине.

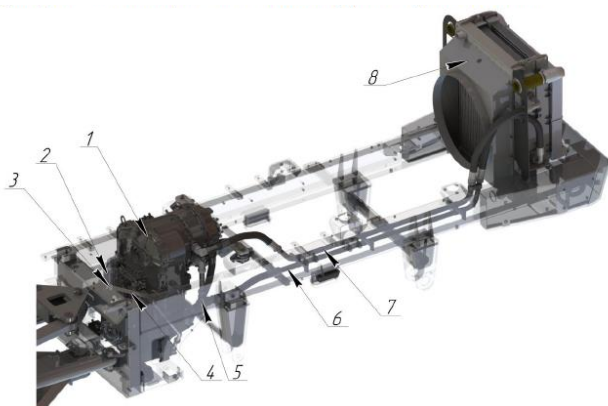


Рис. 2.12. Коробка переключения передач:

- 1 – коробка переключения передач; 2 – фильтр масла КПП; 3 – шуп масла КПП;
- 4 – заливная горловина; 5 – термоклапан; 6 – магистраль горячего масла;
- 7 – магистраль холодного масла; 8 – блок радиаторов

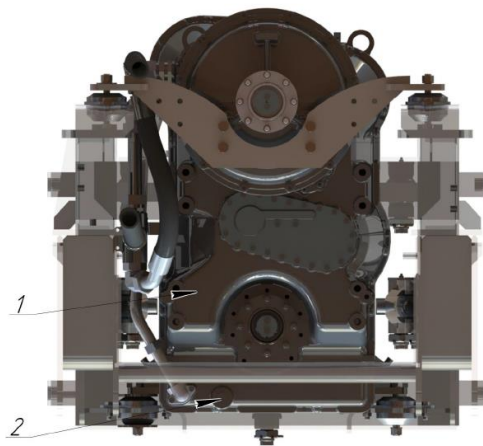


Рис. 2.13. Коробка переключения передач:
 1 – коробка переключения передач; 2 – пробка слива масла

2.3.2. ЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ КП

Коробка передач, переключаемая под нагрузкой, оснащается специально разработанным для коробки передач электронным управлением EST-37.

Электрогидравлический переключатель коробки передач автоматизируется при помощи подключения к электронному блоку управления КПП.

Основные функции автоматики – автоматическое переключение передач, приспособление оптимальных точек переключения, а также многочисленные предохранительные функции относительно неправильного обслуживания и перегрузок, передающих энергию компонентов со сложным регистратором неисправностей.

ЭБУ КПП расположен на задней левой стойке кабины под пластиковой облицовкой (рис. 2.14), для доступа к блоку управления необходимо извлечь подстаканник.

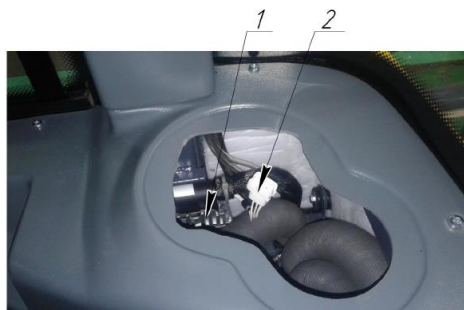


Рис. 2.14. Размещение ЭБУ КПП в кабине:
 1 – электронный блок управления КПП; 2 – разъем подключения АЕБ калибровки

Гидромеханическая коробка передач серии У35615 «Амкодор». Гидромеханическая передача состоит из двух преобразователей: гидравлического (гидродинамического трансформатора) и механического (коробки передач), а также гидравлической системы. Гидротрансформатор представляет собой агрегат, который передает механическую энергию через циркулирующий поток жидкости и автоматически бесступенчато изменяет в определенных пределах передаваемый крутящий момент в зависимости от внешней нагрузки. Гидротрансформатор обеспечивает устойчивую работу двигателя при изменении внешней нагрузки, сглаживает динамические нагрузки и увеличивает долговечность двигателя и трансмиссии.

Коробка передач представляет собой агрегат, который преобразует крутящий момент и частоту вращения по величине и направлению. Преобразование осуществляется с помощью зубчатых передач постоянного зацепления ступенчато – от передачи к передаче. Переключение передач в пределах каждого диапазона производится под нагрузкой многодисковыми фрикционными муфтами – фрикционными, а с диапазона на диапазон – зубчатой муфтой. В таблице 2.3 приведены технические характеристики гидромеханической коробки передач У35.615.

Коробка передач двухдиапазонная обеспечивает четыре передачи переднего и две передачи заднего хода. Каждый диапазон включает в себя две передачи переднего хода и одну заднего хода, переключение с диапазона на диапазон осуществляется с помощью зубчатой муфты при остановленной машине.

2.3. Технические характеристики гидромеханической коробки передач У35.615

| Показатель | Значения |
|--|------------|
| Число передач: вперед/назад | 4/2 |
| Передаточное число в коробке передач: | |
| Вперед I | 4,98 |
| II | 2,75 |
| III | 1,48 |
| IV | 0,815 |
| Назад I | 4,87 |
| II | 1,44 |
| Давление в газовой магистрали, МПа | 1,5 |
| Давление в главной магистрали гидротрансформатора, МПа | 0,1...0,35 |
| Давление в магистрали смазки, МПа | 0,1 |
| Объем масла, заливаемого в картер ГМП, л | 25 |
| Значения давлений указаны при частоте вращения ведущего вала ГМП 1500 об/мин | |

Переключение передач в пределах каждого диапазона производится под нагрузкой многодисковыми фрикционными муфтами – фрикционами. Отключение ведущего моста также осуществляется зубчатой муфтой (при остановленной машине). Переключать диапазоны и включать/отключать задний мост на движущейся машине запрещается во избежание выхода из строя зубчатых муфт.

Основными элементами коробки передач (рис. 2.15) являются картер 12 с крышкой 14 и четыре вала (турбинный 15, промежуточный 20, реверса 36 и выходной 24), установленные в расточках картера и крышках.

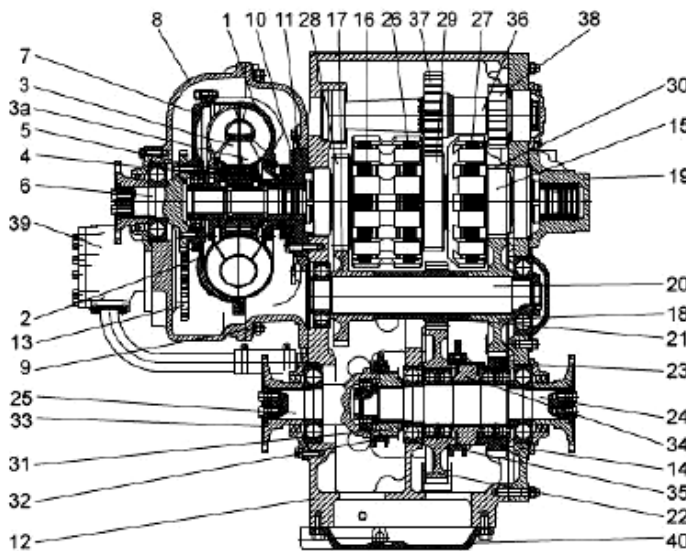


Рис. 2.15. Коробка передач У35615:

1 – колесо насосное; 2 – колесо турбинное; 3 – колесо первого реактора; 4 – муфта свободного хода первого реактора; 5 – муфта свободного хода второго реактора; 6 – вал-шестерня; 7 – крышка насосного колеса; 8 – крышка картера; 9 – картер гидротрансформатора; 10 – крышка фиксации подшипника колесного колеса; 11 – ступица реактора; 12 – картер коробки передач; 13 – шестерня привода насоса; 14 – крышка картера коробки передач; 15 – вал турбинный; 16 – фрикцион второй (четвертой) передачи; 17 – шестерня ведомая второй (четвертой) передачи; 18 – шестерня ведущая транспортного диапазона; 19 – крышка; 20 – промежуточный вал; 21 – шестерня ведущая рабочего диапазона; 22 – шестерня ведомая рабочего диапазона; 23 – шестерня ведомая транспортного диапазона; 24 – выходной вал; 25 – отключаемый выходной вал; 26 – фрикцион заднего хода; 27 – фрикцион первой (третьей) передачи; 28 – шестерня ведущая второй (четвертой) передачи; 29 – шестерня ведущая заднего хода; 30 – шестерня ведущая первой (третьей) передачи; 31 – основание зубчатой муфты; 32 – каретка; 33 – выходной фланец; 34 – основание зубчатой муфты; 35 – каретка; 36 – вал реверса (заднего хода); 37 – шестерня ведомая заднего хода; 38 – шестерня вала реверса; 39 – насос; 40 – поддон

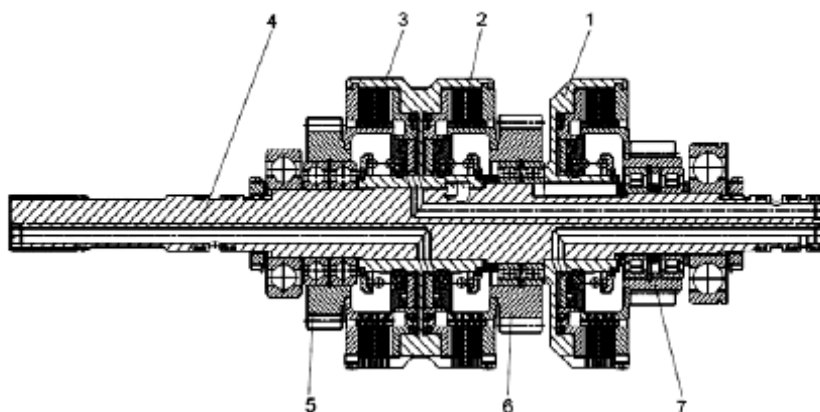


Рис. 2.16. Вал с фрикционами в сборе:

- 1 – фрикцион первой (третьей) передачи; 2 – фрикцион заднего хода;
 3 – фрикцион второй (четвертой) передачи; 4 – вал;
 5 – шестерня ведущая второй (четвертой) передачи; 6 – шестерня ведущая заднего хода; 7 – шестерня ведущая первой (третьей) передачи

На турбинном валу (рис. 2.16) установлены фрикционы передач – 3 второй (четвертой), 2 заднего хода и 1 первой (третьей) и ведущие шестерни передач – 5 второй (четвертой), 6 заднего хода и 7 первой (третьей). Шестерни 5 – 7 установлены на валу на подшипниках. Они, соответственно, находятся в постоянном зацеплении с ведомыми шестернями 17 второй (четвертой) передачи промежуточного вала 37 (см. рис. 2.15), заднего хода вала реверса и ведущей шестерней транспортного диапазона 18 промежуточного вала. Шестерни 5 – 7 соединяются с валом 4 для передачи крутящего момента при включении соответствующего фрикциона. Подвод рабочей жидкости на включение фрикционов передач осуществляется по каналам в монтажной плите, крышке картера 14, картере 12 и крышке 19, а на смазку дисков фрикционов и подшипников турбинного вала – по каналам, идущим от клапана смазки.

Все фрикционы (рис. 2.17) имеют одинаковую конструкцию и состоят из унифицированных деталей. Фрикционы второй (четвертой) передачи и заднего хода конструктивно собраны в одном корпусе. Фрикцион первой (третьей) передачи состоит из корпуса 1, поршня 2, ведущих 3 и ведомых 4 дисков, опорного диска 8, направляющей 6, диска 7, отжимной пружины 9, опорного диска пружины 5 и уплотнительных колец 10 – 12. При включении рабочая жидкость подается в полость исполнительного цилиндра фрикциона между корпусом, поршнем и направляющей. Под давлением рабочей жидкости поршень перемещается и сжимает диски. Он имеет шариковый клапан слива, обеспечивающий быстрый сброс жидкости из цилиндра фрикциона при его выключении.

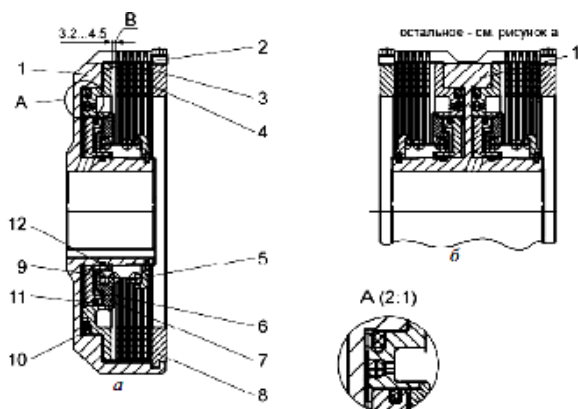


Рис. 2.17. Конструкция фрикциона:

а – фрикцион первой (третьей) передачи; *б* – фрикцион второй (четвертой) передачи и заднего хода; 1 – корпус фрикциона; 2 – поршень; 3 – ведущий диск; 4 – ведомый диск; 5 – опорный диск пружины; 6 – направляющая; 7 – диск; 8 – опорный диск; 9 – отжимная пружина; 10 – 12 – уплотнительное кольцо

На промежуточном валу 20 (рис. 2.15) на шлицах установлены ведомая шестерня 17 второй (четвертой) передачи, ведущие шестерни 18 транспортного диапазона и 21 рабочего диапазона. Ведомая шестерня 17 второй (четвертой) передачи находится в постоянном зацеплении с ведущей шестерней 28 турбинного вала. Ведущая шестерня 21 рабочего диапазона находится в постоянном зацеплении с ведомой шестерней 22 выходного вала. Ведущая шестерня транспортного диапазона 18 пребывает в постоянном зацеплении одновременно с тремя шестернями: ведущей шестерней 30 первой (третьей) передачи турбинного вала, шестерней 38 вала реверса и ведомой шестерней 23 транспортного диапазона выходного вала. На валу реверса 36 на шлицах установлены ведомая шестерня 37 заднего хода, находящаяся в постоянном зацеплении с ведущей шестерней 29 заднего хода турбинного вала, и шестерня 38, находящаяся в постоянном зацеплении с ведущей шестерней транспортного диапазона 18 промежуточного вала. На валу 24 на подшипниках установлены также ведомые шестерни диапазонов – 22 рабочего диапазона и 23 транспортного диапазона, между которыми на шлицах установлено основание 34 зубчатой муфты переключения диапазонов. Включение осуществляется соединением соответствующей шестерни с основанием муфты через каретку 35.

Выходной 24 и отключаемый выходной 25 валы установлены в картере соосно и соединяются через зубчатую муфту, позволяющую отключать вал 25. На валу 24 на шлицах установлено основание 31 зубчатой муфты. Включение осуществляется соединением отключаемого вала с основанием муфты через каретку 32.

2.3.3. БОРТОВЫЕ ФРИКЦИОНЫ И ОСТАНОВОЧНЫЕ ТОРМОЗА

Бортовые фрикционы (БФ) и остановочные тормоза (ОТ) служат для передачи крутящего момента к бортовому редуктору, осуществления поворотов и остановки трактора. Бортовой фрикцион и остановочный тормоз выполнены в виде отдельного блока, который соединен с бортовым редуктором и совместно с ним устанавливается в расточку корпуса рамы трактора.

В тормозах и фрикционах использованы взаимозаменяемые дисковые фрикционные элементы, каждый пакет которых состоит из металлокерамических и стальных дисков. При остановленном дизеле, т.е. при отсутствии давления масла, фрикционные элементы БФ разомкнуты, а элементы ОТ замкнуты под действием тарельчатых пружин 5 (рис. 2.18). Под давлением масла элементы БФ замыкаются, а элементы ОТ размыкаются.

Масло на управление и смазку фрикционных элементов подается через три отверстия в корпусе 9 и соответствующие им каналы в деталях. Оно поступает от системы трубопроводов, заделанных в корпус рамы трактора.

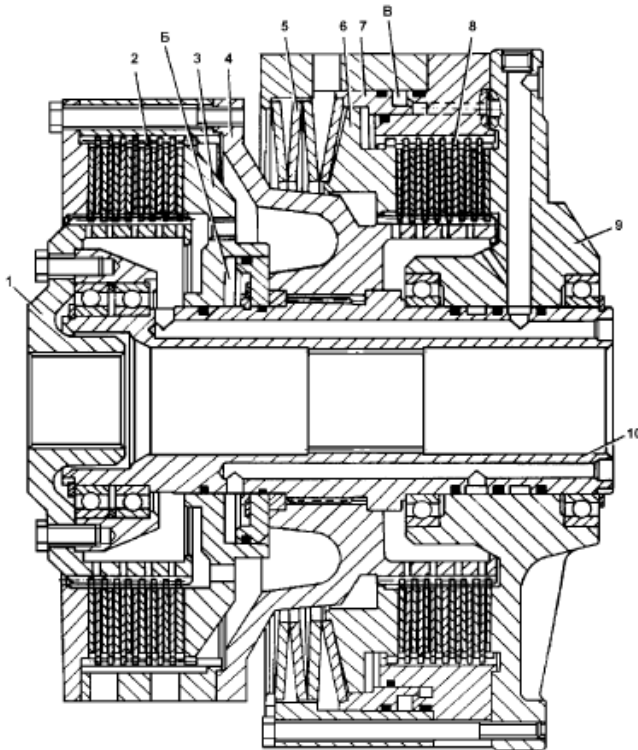


Рис. 2.18. Бортовой фрикцион и остановочный тормоз:
1, 9 – корпус; 2, 8 – диск; 3, 6, 7 – поршень; 4 – барабан; 5 – пружина;
10 – вал; Б, В – полость

Один канал служит для подвода масла через сверления в корпусе 9 в полость В остановочного тормоза. В полость Б бортового фрикциона масло поступает по сверлениям в корпусе 9 и вале 10. Третий канал используется для подачи масла на смазку и охлаждение фрикционных элементов БФ и ОТ.

В этом канале масло подается двумя потоками: к дискам 2 бортового фрикциона – по корпусу 9 и валу 10, к дискам 8 остановочного тормоза – по корпусу 9 и полости барабана 4. Общее количество масла, поступающее на смазку, делится в этих потоках поровну на диски бортового фрикциона и диски остановочного тормоза. При прямолинейном движении трактора масло через один из каналов поступает в полость В остановочного тормоза и через поршни 6 и 7 сжимает тарельчатые пружины, освобождая пакет дисков 8 остановочного тормоза. Одновременно масло подается в полость Б бортового фрикциона, поэтому пакет дисков 2 сжат поршнем 3, т.е. остановочный тормоз разомкнут, а бортовой фрикцион замкнут. Крутящий момент от внутреннего торсиона, соединенного с корпусом 1, передается внешнему барабану 4 с валом 10. В шлицы вала устанавливается внешний торсион, передающий крутящий момент бортовому редуктору.

При плавном повороте трактора (рычаг управления бортового фрикциона и остановочного тормоза перемещен на половину хода) закрывается подвод масла в полость Б бортового фрикциона и поршень 3 освобождает пакет дисков 2. При этом крутящий момент не передается на выходной вал 10 и происходит плавный поворот трактора с произвольным радиусом.

При повороте трактора с фиксированным радиусом рычаг управления бортового фрикциона и остановочного тормоза необходимо переместить на полный ход. При этом масло в полость Б бортового фрикциона также не поступает, а в полость В остановочного тормоза подвод масла прекращается и диски тормоза замыкаются. Останавливается ведущее колесо и происходит поворот трактора с фиксированным радиусом.

При нажатии на педаль экстренного торможения замыкаются пакеты дисков остановочных тормозов обоих бортов при замкнутых бортовых фрикционах. Происходит торможение и остановка трактора без отключения потока мощности от двигателя.

Задний мост, вал отбора мощности и «мокрый» тормоз МТЗ. Задний мост (рис. 2.19) состоит из главной передачи, дифференциала с гидруправляемой фрикционной муфтой блокировки, бортовых передач, расположенных в корпусе заднего моста, и конечных передач, находящихся в рукавах полуосей.

Главная передача – коническая с круговыми зубьями – состоит из ведущей конической шестерни 9, выполненной за одно целое с вторичным валом КП и ведомой шестерни 11, закрепленной болтами 13 на корпусе дифференциала 12.

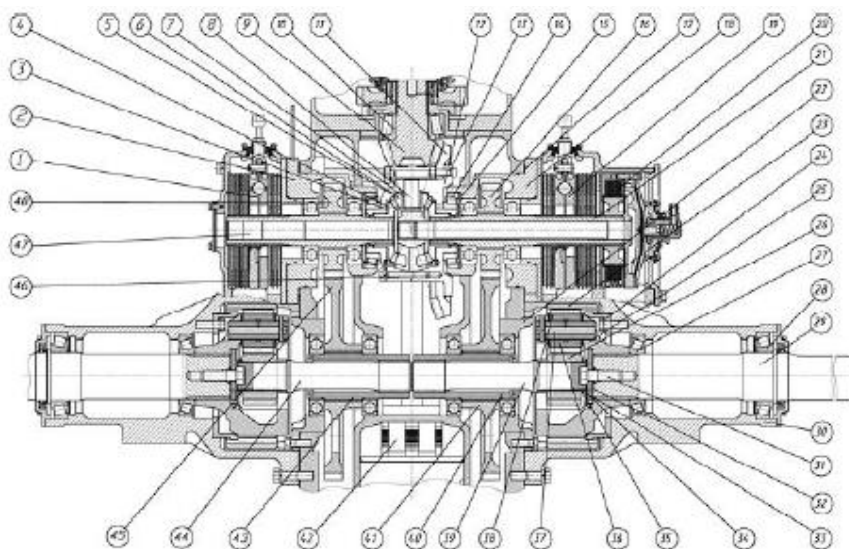


Рис. 2.19. Задний мост трактора МТЗ:

- 1 – тормоз левый; 2, 18 – стакан подшипников; 3 – шайба опорная;
 4 – полуосевая шестерня; 5 – крышка дифференциала; 6 – сателлит;
 7 – шайба сферическая; 8 – крестовина дифференциала; 9 – шестерня ведущая главной передачи; 10 – подшипник роликовый конический; 11 – шестерня ведомая;
 12 – корпус дифференциала; 13 – болт; 14, 27, 28 – подшипник роликовый конический; 15 – кольцо упорное; 16, 48 – шестерня ведущая бортовой передачи; 17, 32 – прокладки регулировочные; 19 – тормоз правый; 20 – муфта блокировки дифференциала; 21 – вал правой ведущей шестерни; 22 – стакан подшипников;
 23 – шестерня коронная; 24 – ступица коронной шестерни; 25 – водило;
 26 – шестерня солнечная; 29 – полуось; 30 – рукав полуоси; 31 – болт; 33 – шайба;
 34 – пластина стопорная; 35 – шайба; 36 – ролик; 37 – ось сателлитов; 38 – сателлит;
 39, 44 – вал-торсион; 40, 43 – втулка ведомой шестерни; 41, 45 – шестерня ведомая;
 42 – ВОМ задний; 46 – болт; 47 – вал левой ведущей шестерни

Дифференциал – блокируемый, конический, закрытый – состоит из корпуса 12 и крышки 5, соединенных болтами 46, крестовины 8, четырех сателлитов 6, установленных на роликах со сферическими шайбами 7 и двух полуосевых шестерен 4 с опорными шайбами 3. Корпус дифференциала в сборе поддерживается в корпусе заднего моста двумя коническими роликоподшипниками 14. Для блокировки дифференциала предусмотрена гидруправляемая фрикционная многодисковая муфта 20, которая блокирует крестовину и сателлиты с правой полуосевой шестерней дифференциала.

Бортовые передачи состоят из двух пар прямозубых цилиндрических шестерен 16, 41 и 45, 48. Ведущие шестерни 16, 48 бортовых передач установлены на шлицах валов 21, 47 соответственно и поддерживаются шарико-

подшипниками. Осевая фиксация обеспечивается упорными кольцами 15. Валы 21 и 47 через шлицевые соединения связывают полуосевые шестерни 4 дифференциала с ведущими шестернями бортовых передач и дисками тормозов. Ведомые шестерни 41, 45 посажены на шлицевых втулках 40, 43 и подерживаются шарикоподшипниками. Между фланцами стаканов 18 и корпусом заднего моста установлены регулировочные прокладки 17 толщиной 0,2 и 0,5 мм для регулировки осевого зазора в конических роликоподшипниках 14 и бокового зазора в зацеплении шестерен 9 и 11 главной передачи.

Многодисковая гидроуправляемая муфта (рис. 2.20) блокировки дифференциала 2 расположена в кожухе 1, который через кожух правого тормоза 11 и стакан подшипников 12 прикреплен болтами 16 к корпусу заднего моста. Муфта состоит из вала 13, соединенного посредством шлицев с крестовиной дифференциала 14, корпуса 9, нажимного диска 5, отжимного диска 7, диафрагмы 6, крышки 4, переходника 3 и дисков 10, 15, посаженных на шлицах правой ведущей шестерни конечной передачи. При подводе масла от гидросистемы управления АБД под давлением в рабочую полость «А» диафрагма 6 с нажимным диском 5 перемещаются и прижимают диски 10, 15 к опорным поверхностям корпуса 9, промежуточного диска 8 и отжимного диска 7, блокируя дифференциал (крестовину дифференциала с правой полуосевой шестерней). При соединении полости «А» со сливом дифференциал разблокируется. Нормальное положение муфты блокировки – выключенное.

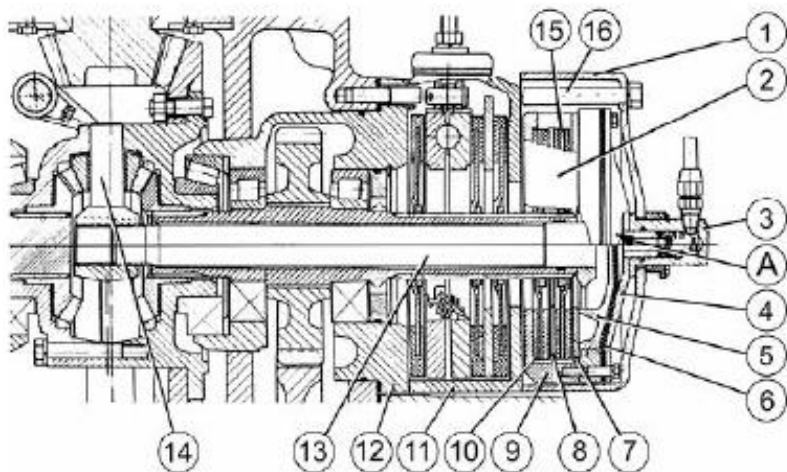


Рис. 2.20. Муфта блокировки дифференциала:

- 1 – кожух; 2 – муфта блокировки; 3 – переходник; 4 – крышка диафрагмы;
 5 – нажимной диск; 6 – диафрагма; 7 – отжимной диск; 8 – промежуточный диск;
 9 – корпус муфты; 10, 15 – диски тормозные; 11 – кожух правого тормоза; 12 – стакан подшипников; 13 – вал блокировки; 14 – крестовина дифференциала; 16 – болт

Задний вал отбора мощности (ВОМ). Задний ВОМ имеет двухскоростной (для тракторов с КП 16×8) независимый привод или четырехскоростной (для тракторов с КП 24×12) независимый привод. Привод обеспечивается двухскоростным редуктором в корпусе муфты сцепления и сменными хвостовиками: (15) (540 об/мин) и (16) (1000 об/мин) в редукторе ВОМ.

На тракторах с КП 24×12 имеется переключатель скорости независимого привода ВОМ (А) который находится с левой стороны корпуса сцепления и позволяет дополнительно получить две скорости ВОМ. Он имеет два положения: I – 540 и 1000 об/мин – крайнее, против часовой стрелки; II – 651 и 1435 об/мин – крайнее по часовой стрелке. Для установки нужной скорости вращения ВОМ ослабьте болт (Б), поверните рычаг в нужное положение и затяните болт (Б). Привод осуществляется от дизеля через две пары цилиндрических шестерен в корпусе сцепления, внутренний вал КП, муфту переключения и редуктор ВОМ. Включение и выключение привода приводится муфтой 1 (рис. 2.21).

Редуктор вала отбора мощности установлен в корпусе заднего моста и состоит из ведомой 22 и ведущей 23 шестерен, расположенных соосно и соединенных между собой посредством трех равномерно расположенных промежуточных шестерен 9, смонтированных на осях 7, запрессованных в корпус редуктора 10. Ведущая и ведомая шестерни имеют шлицевые отверстия, посредством которых соединяются со сменными хвостовиками 15, 16 в зависимости от требуемого режима работы: с шестерней 22 обеспечивается 540 об/мин; с шестерней 23...1000 об/мин.

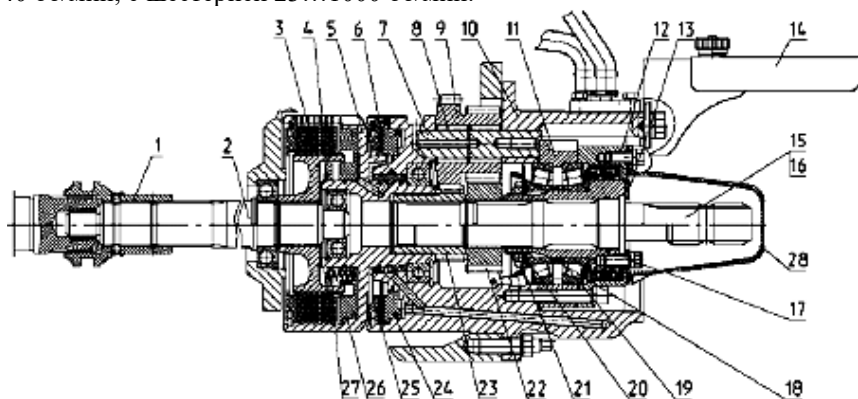


Рис. 2.21. Задний вал отбора мощности:

- 1 – муфта переключения; 2 – вал ведущий; 3 – диск фрикционный; 4 – диск промежуточный; 5 – барабан; 6 – диск тормоза; 7 – ось промежуточная; 8 – ролик; 9 – шестерня; 10 – корпус; 11 – стакан; 12 – крышка; 13 – шайба упорная; 14 – кожух; 15, 16 – хвостовики сменные; 17 – втулка; 18 – конический роликоподшипник; 19 – кольцо; 20 – шайба; 21 – гайка; 22, 23 – шестерня; 24 – поршень тормоза; 25 – диск упорный; 26 – поршень фрикциона; 27 – пружина; 28 – колпак

При включении ВОМ под действием давления масла поршень 26 сжимает диски, соединяя, таким образом, редуктор ВОМ с ведущим валом 2. При выключении фрикционной муфты поршень 6 под давлением пружин 7 возвращается в первоначальное положение. Устранение ведения хвостовика и его остановка осуществляется автономным управляемым тормозом ВОМ. Тормоз смонтирован в корпусе редуктора 10 и состоит из поршня 24, фрикционного диска 6 и упорного диска 25. Фрикционный диск 6 установлен на шлицах барабана 5. При подаче давления в бустер тормоза поршень 24 сжимает диски 6 и 25, затормаживая барабан и хвостовик ВОМ.

«Мокрые» тормоза. Тракторы могут быть укомплектованы многодисковыми рабочими и стояночными тормозами, работающими в масляной ванне. Муфта блокировки дифференциала заднего моста монтируется в корпусе тормоза и имеет с ним общую масляную ванну, поэтому она также выполнена «мокрой». Устройство тормозов и муфты блокировки представлено на рис. 2.22.

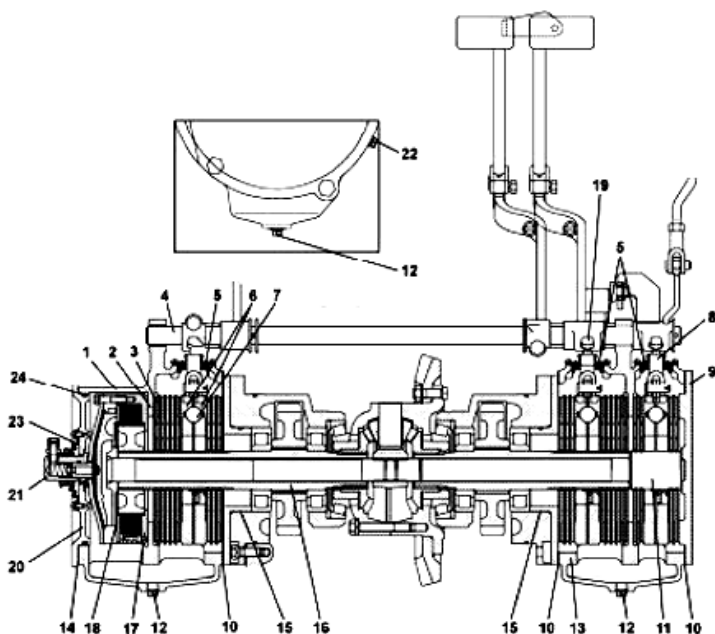


Рис. 2.22. «Мокрый» тормоз:

- 1 – корпус тормоза; 2 – диск фрикционный; 3 – диск промежуточный;
 4 – валик педалей; 5 – чехол уплотнительный; 6 – диск нажимной; 7 – шарик;
 8 – тормоз стояночный; 9 – крышка; 10 – прокладка; 11 – вал стояночного тормоза;
 12 – пробка сливная; 13 – корпус тормоза; 14 – прокладка; 15 – кольцо уплотнительное;
 16 – шестерня ведущая конечной передачи; 17 – муфта блокировки; 18 – ступица;
 19 – болт регулировочный; 20 – крышка; 21 – переходник; 22 – пробка
 контрольно-заливная; 23 – чехол уплотнительный; 24 – кольцо уплотнительное

Рабочие тормоза – 8-дисковые. Фрикционные диски 2 установлены на шлицевых концах ведущих шестерен конечных передач 16. Нажимные диски 6 конструктивно подобны применяемым в сухих тормозах, но имеют уменьшенный угол подъема лунок под шарики для обеспечения необходимого усилия сжатия пакетов фрикционных и промежуточных дисков. Промежуточные диски 3 фиксируются от проворота в корпусах 1, 13 при помощи запящников, выполненных на наружном контуре. Герметичность масляных ванн обеспечивается уплотнительными кольцами 15, 24, прокладками 10, 14 и резиновыми чехлами 5, 23. Корпуса снабжены контрольными 22 и сливными пробками 12.

В одном корпусе с многодисковым рабочим тормозом установлен «мокрый» 4-дисковый стояночный тормоз 8, детали которого унифицированы с деталями рабочих тормозов. «Мокрая» муфта блокировки дифференциала 17 имеет шесть дисков с металлокерамическими фрикционными накладками, которые установлены на шлицевой ступице 18, связанной с ведущей шестерней конечной передачи 16. Пакет из шести фрикционных и пяти промежуточных дисков сжимается при подаче масла под давлением в полость диафрагмы; развиваемый при этом момент трения обеспечивает блокирование дифференциала заднего моста. Муфта выполнена в одном корпусе с рабочим тормозом, имеет общую с ним масляную ванну, уплотнена крышкой 20 и специальным гофрированным чехлом 23 переходника подвода масла 21 в рабочую полость диафрагмы.

3. АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ТЯГОВЫХ И ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН

Электропривод в общетехническом применении – это электромеханическая система, предназначенная для приведения в движение и управления движением рабочих органов машин и механизмов. Электропривод разделяется на нерегулируемый, работающий при постоянной скорости, и регулируемый, в котором скорость изменяется в соответствии с требованием выполняемого технологического процесса.

В тяговых и транспортных машинах нашли применение регулируемые электроприводы как постоянного, так и переменного тока.

Электропривод постоянного тока используется на тяговых и транспортных машинах прошлых лет разработки (трактор ДЭТ-250, карьерные самосвалы БелАЗ, коммунальный транспорт). В машинах современных разработок предпочтение отдается электроприводам переменного тока.

В структуру регулируемого электропривода входят источник электроэнергии, силовой преобразователь (СП), электродвигатель (ЭД), передаточный механизм (ПМ), соединяющий электродвигатель с исполнительным механизмом (ИП) и устройство управления (УУ).

В качестве источников электроэнергии в тягово-транспортных машинах широкое применение получили дизель-электрические генераторы и комбинированные энергоустановки (КЭУ). В последних кроме дизеля и электрогенератора используются буферные накопители электроэнергии (БНЭ). Электрогенераторы работают в обратимом режиме и необходимы для запуска дизельных двигателей и имеют второе название «мотор-генераторы» (МГ).

В электроприводных тракторах и МТА применяется полнопоточный электропривод, в котором вся энергия дизеля преобразуется в электроэнергию и распределяется по всем потребителям. Дизель в скоростном регулировании трактора не участвует и используется только как первичный двигатель мобильной электростанции и работает на стационарном скоростном режиме.

Выработанная мотор-генератором электроэнергия реализуется на тяговый электропривод (привод движителей), а также может применяться на привод силовых агрегатов трактора (рулевое управление, управление механизмами навески), на привод активных рабочих органов агрегируемых сельхозмашин, на привод насосов систем охлаждения, на питание систем контроля, сигнализации и освещения.

Структура электроприводов силовых агрегатов трактора и сельхозмашин не будет существенно отличаться от структуры электропривода общетехнического применения. Отличие будет только в исполнении элементов приводов (двигателей, устройств управления, электропроводки) применительно к условиям эксплуатации, характерных для сельскохозяйственного

производства, а также условиями монтажа и обслуживания их на тракторах и сельхозмашинах.

Сложившаяся структура электропривода тракторов в будущем будет подвергаться изменениям, вызванным заменой традиционных дизельных двигателей на более экономичные и экологичные первичные двигатели, а также совершенствованием элементов электропривода и систем энергообеспечения электроприводов.

3.1. СОВРЕМЕННЫЕ СИЛОВЫЕ УСТАНОВКИ И ТЯГОВЫЕ МОТОР-ГЕНЕРАТОРЫ

На современных электроприводных тяговых машинах используются преимущественно комбинированные силовые установки в составе дизельного двигателя, электрического мотор-генератора и буферного накопителя электроэнергии.

Валы дизеля и мотор-генератора соединены в общую механическую систему и работают в согласованном скоростном режиме. За номинальную скорость ротора МГ принимается частота $n_{\text{МГ}}$ вращения, равная или эквивалентная частоте $n_{\text{доп}}$ вала дизеля, оптимальной по удельному расходу топлива, т.е.

$$n_{\text{МГ}} = n_{\text{доп}}, \quad (3.1)$$

при непосредственном соединении дизеля и МГ $i = 1$.

Управление дизелем и МГ обеспечивает регулирование их мощностей при практически неизменной частоте вращения их валов. При этом происходит согласование характеристик дизеля и МГ так, чтобы потребляемые МГ мощность $N_{\text{МГ}}$ и крутящий момент $M_{\text{МГ}}$ должны быть меньше или равны мощности дизеля $N_{\text{д}}$ и его крутящему моменту $M_{\text{д}}$, т.е.

$$N_{\text{МГ}} \leq N_{\text{д}} \eta_{\text{МГ}} \text{ и } M_{\text{МГ}} \leq M_{\text{д}} \eta_{\text{МГ}} \quad (3.2)$$

Согласование характеристик дизеля и МГ представлено на рис. 3.1 на примере согласования дизеля и МГ трактора БЕЛАРУС-3023.

Традиционные тракторные дизельные двигатели на минеральном топливе завершают свой жизненный цикл. Дальнейшее их неограниченное использование может вызвать серьезные экологические и социальные проблемы. Совершенствование дизелей идет по направлениям выбора альтернативного топлива (биотопливо, газовое, водородное) и совершенствованию рабочих процессов, а также замены традиционных дизель-генераторных установок вращательного действия на безвалыные свободно-поршневые дизель-генераторные установки (СПДГ).

В свободно-поршневом дизель-генераторе отсутствуют все валы (коленчатый, распределительный), соединяющие их передачи, кривошипно-шатунные механизмы. Возвратно-поступательное движение поршней непосредственно преобразуется в электрическую энергию линейным электрогенератором.

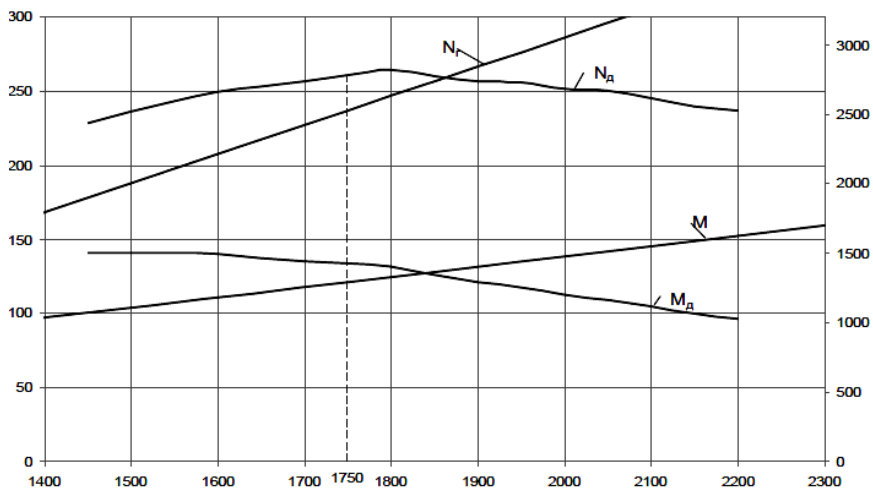


Рис. 3.1. Совмещение внешней скоростной характеристики двигателя Deutz TCD 2013 L06 4V с характеристикой тягового асинхронного генератора

В вариантах российских СПДГ все силовые межагрегатные и управляющие механические связи заменены информационными, реализуемыми в микроконтроллере. Микроконтроллер обеспечивает работоспособность СПДГ и его основные преимущества.

СПДГ конструктивно представляет собой набор из полностью автономных унифицированных модулей. Упрощенная схема одного из вариантов модуля представлена на рис. 3.2.

Модуль содержит пару поочередно и противоположно действующих цилиндров двухтактного двигателя, поршни 7 которого жестко соединены штоком 8, с расположенными между ними якорем 9 (индуктором) линейного электрогенератора. Поток возбуждения создается током, протекающим в неподвижных обмотках 10. Возвратно-поступательное движение поршней с индуктором вызывает изменение магнитного потока в магнитопроводе статора 11. В обмотках 12 статора генерируется переменный ток, который можно преобразовать в постоянный или переменный с необходимыми параметрами частоты и амплитуды выходного напряжения.

Микроконтроллер содержит задатчик 3, блоки раздельного управления цилиндрами модулей 17 и блоки управления общим для одного модуля генератором. На рисунке представлен блок управления одного цилиндра без блоков управления генератором. С выхода 4 задатчика в блоки управления СПДГ подается информация о заданной длительности прохождения контрольного участка рабочего хода. Фаза генерируемого тока задается индивидуально каждому цилиндру каждого модуля: с выхода 2 блоку управления 17 одного цилиндра первого модуля, а с выходов 1 блокам управления других цилиндров.

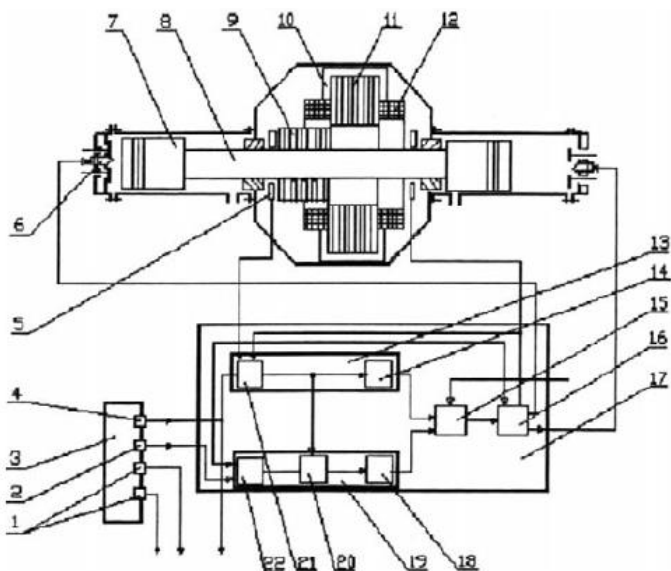


Рис. 3.2. Упрощенная схема модуля свободно-поршневого двигателя

В блоке управления представлены каналы управления периодом *13* и фазой *19*. На измерители длительности прохождения контрольного участка рабочего хода *21* и фазы *22* этих каналов поступает информация о положении якоря от датчиков *5*. Элементы *20* корректируют управления фазой в функции отключения периода. Управляющее воздействие по отклонению периода и фазы формируется заданным алгоритмом в элементах *14* и *18*. Через сумматор *15* и формирователь-распределитель управляющих импульсов *16* управляющее воздействие поступает в электроуправляемую форсунку *6*, подающую топливо в цилиндр. Управление моментом начала подачи топлива осуществляется на основе информации о движении якоря в конкретном такте сжатия очередного цилиндра.

В СПДГ для исключения как чрезмерного разгона, так и остановки поршня необходимо управление электромагнитными силами на индукторе в такте расширения очередного цилиндра, выполняемое микроконтроллером по информации о движении поршня и изменении токов нагрузки генератора.

СПДГ обладает рядом преимуществ – конструктивных, технологических, экономических и эксплуатационных, среди которых главное – снижение на 30% эксплуатационного расхода топлива. Габаритная мощность, удельная масса и металлоемкость СПДГ в 2,5–3,0 раза меньше, чем у дизель-генераторов традиционного исполнения.

Подробное описание модуля СПДГ и его преимуществ приведено в работе.

В перспективе ожидается устранение традиционного дизеля с сельскохозяйственной техники и замена его электрохимическим генератором (ЭХГ). В Европе фирма «New Holland» создала опытный электроприводной трактор NH2 без ДВС, на котором в качестве источника электроэнергии используется водородный ЭХГ. Одна заправка водорода обеспечивает работу трактора под полной нагрузкой в течение 2 ч. Фирма продолжает работы, чтобы это время увеличилось до 7 ч.

Мировая электротехническая наука осваивает новые методы передачи электроэнергии, в числе которых резонансные – по одному проводнику и бесконтактные, предлагаемые Никола Тесла более 100 лет назад. По этому принципу уже работают модели электромобилей и электрокатеров с бесконтактным электроприводом. В России в ВИЕСХе ведутся исследования по созданию энергоэффективного гибридного трактора мощностью 50...100 кВт с беспроводной системой зарядки накопителей электроэнергии, с экономией топлива до 30% и снижением вредных выбросов до 50 раз, а также агробота с резонансной системой электрообеспечения.

Огромным прорывом для бортовых потребителей электроэнергии может стать в отдаленной перспективе использование электроэнергии, накапливаемой в околосемном пространстве, которую пытался использовать Никола Тесла. Исследования по поиску методов ее применения уже ведутся.

В структуру комбинированных энергоустановок входят и буферные накопители электроэнергии (БНЭ), представляющие собой сочетание традиционных аккумуляторов (металло-гибридных, литий-ионных) и суперконденсаторов (ионисторов). Последние представляют собой конденсаторы с двойным электрическим слоем в качестве «обкладки». БНЭ позволяют повышать общий КПД тягово-транспортных машин за счет применения рекуперации мощности при торможении и временных перегрузках машин. На сельскохозяйственных тракторах рекуперация мощности возможна при электрическом торможении тяговым двигателем, а также при недоиспользовании мощности трактора как на разворотной полосе, так и на гоне. Энергия БНЭ используется при разгоне МТА и при преодолении кратковременных перегрузок на гоне.

Энергоемкость БНЭ выбирается так, чтобы при разгоне МТА за счет накопителя можно было увеличить мощность тягового электропривода до 25% от эксплуатационной мощности тракторного дизеля. Так, при разгоне шасси «Крымск» массой 22 т дополнительно к мощности электрогенератора 270 кВт реализуется мощность БНЭ в 65 кВт или 24%.

На смену существующим БНЭ в перспективе прогнозируется внедрение новой технологии аккумулялирования электроэнергии на основе использования электронных квантовых эффектов в наноструктурированном диэлектрике. Устройства на основе таких эффектов называются квантовые батареи. Аккумуляторы на квантовых батареях будут иметь следующие параметры:

- удельная емкость энергии – не менее $2,26 \text{ МДж/кг} = 0,628 \text{ кВт}\cdot\text{ч/кг}$;

- температура эксплуатации – от -50 до $+300$ °С;
- практически неограниченное число циклов зарядки-разрядки при непрерывной работе сроком не менее 30 лет;
- плотность мощности – не менее 8000 Вт/кг с КПД зарядки-разрядки 90%;
- себестоимость массового производства – не более 50 долл/кВт·ч.

Так, для трактора БЕЛАРУС-3023 (220 кВт) потребуется БНЭ, способный развивать мощность 55 кВт в течение примерно 5 мин (0,083 ч). Емкость БНЭ на квантовых генераторах составит $E_{кб} = 55 \cdot 0,083 = 4,58$ кВт·ч. При такой емкости квантовых батарей появляется возможность в отдаленной перспективе создать трактор без ДВС, работающий только на энергии БНЭ по примеру электромобилей.

Рассмотрим возможность использования БНЭ на квантовых батареях для электрообеспечения тракторов тяговых классов 5 и 3. Трактор класса 5 мощностью 220 кВт и эксплуатационной массой 11 500 кг за 7 ч непрерывной работы под полной нагрузкой будет потреблять энергию $E_T = 220 \cdot 7 = 1540$ кВт·ч. При этом масса БНЭ на квантовых батареях будет 2452 кг или 21,3% от массы трактора.

Трактор класса 3 мощностью 110 кВт и массой 6000 кг потребляет за 7 ч непрерывной работы энергию $E_T = 110 \cdot 7 = 770$ кВт·ч, а масса его БНЭ на квантовых батареях 1226 кг или на 20,4% от массы трактора. Таким образом, в перспективе масса БНЭ для обеспечения 7 ч работы трактора будет соизмерима с массой ДВС, его систем и топлива.

3.2. ТЯГОВЫЕ ДВИГАТЕЛИ

В тяговом приводе современных тракторов предпочтительное применение получают тяговые асинхронные двигатели (ТАД) переменного тока. Они, по сравнению с другими тяговыми электродвигателями (постоянного тока (ПТ) и синхронными переменного тока), более просты по конструкции, дешевле в производстве и эксплуатации, более надежны, но уступают им в КПД. Так, максимальный КПД ТАД трактора БЕЛАРУС-3023 вместе с блоком силовой электроники равен КПД асинхронного мотор-генератора (АМГ)

$$\eta_{тад} = \eta_{амг} = 0,93; \quad (3.3)$$

при этом КПД тягового электропривода составляет

$$\eta_{тп} = \eta_{тад} \eta_{мг} = 0,932 = 0,8649. \quad (3.4)$$

Зависимость совокупного КПД МГ-ТАД представлена на рис. 3.3.

Отличительной особенностью тяговых электродвигателей (ТЭД) являются их механические характеристики, состоящие из двух характерных участков – участка постоянного момента $M_{тэд\ const}$ и участка постоянной мощности $N_{тад\ const}$ (рис. 3.4). Рабочим участком такой характеристики является участок постоянной мощности, ограниченный частотой вращения вала ТД

от номинальной $n_{\text{ТД, ном}}$ до максимальной $n_{\text{ТД, max}}$, а диапазон его скоростного регулирования

$$D_{\Pi} = \frac{n_{\text{ТД, max}}}{n_{\text{ТД, ном}}} = \frac{M_{\text{ТД, ном}}}{M_{\text{min}}} . \quad (3.5)$$

Участок постоянного момента ограничен частотами вращения вала ТД диапазоном $n_{\text{ТД}} = 0 - n_{\text{ТД, ном}}$. Этот участок соответствует пуску ТД и разгону его до номинальной частоты вращения $n_{\text{ТД, ном}}$ и выходу его на рабочий режим.

Асинхронные тяговые двигатели российского производства (трактор БЕЛАРУС-3023) допускают перегрузки не выше 10% от номинальной (рис. 3.5).

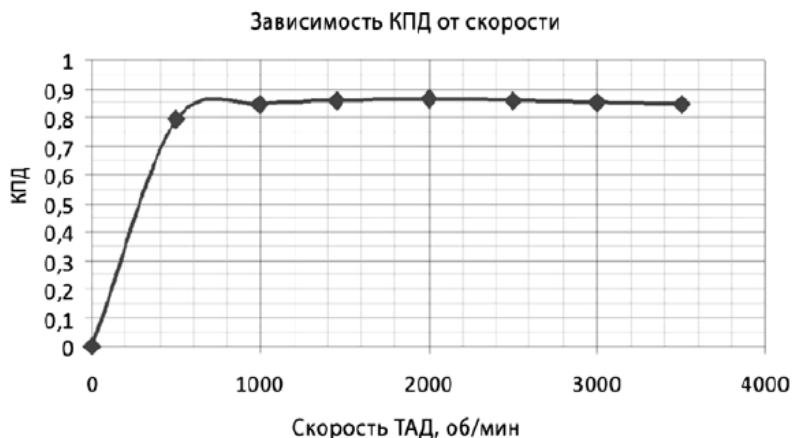


Рис. 3.4. Совокупный КПД МГ-ТАД в функции частоты вращения вала ТАД

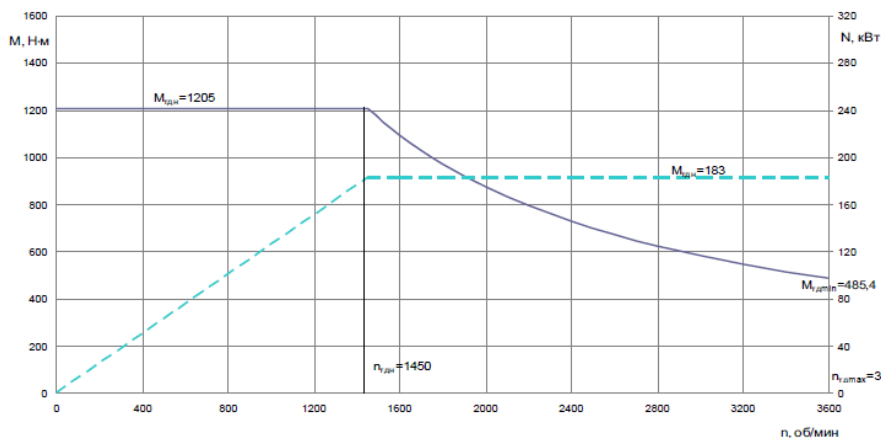


Рис. 3.5. Механическая характеристика тягового асинхронного двигателя

За рубежом последнее время в качестве тяговых двигателей стали применяться асинхронные двигатели с медной обмоткой ротора, отлитой под давлением (АДМО). Это позволяет значительно улучшить эффективность и перегрузочную способность асинхронных АД и приблизить их показатели к показателям СДПМ, а отдельные – даже превзойти. По данным Массачусетского технологического института, АДМО мощностью 50 кВт при непродолжительном времени выдерживает перегрузку до 120 кВт. Эти двигатели получают основное применение на грузовых автомобилях и автобусах большой мощности и тяговых машинах военного назначения. Главный недостаток асинхронных тяговых двигателей – относительно небольшой диапазон регулирования на режиме постоянной мощности, не выше $D_n = 2,5$. При использовании их на сельскохозяйственных тракторах потребуются их применение в механической части тягового привода переключаемого редуктора с не менее тремя ступенями (трактор БЕЛАРУС-3023).

В автомобильных гибридных трансмиссиях и в тяговых приводах троллейбусов находят применение синхронные тяговые вентильные двигатели с роторами с постоянными магнитами «железо–неодим–бор» (СДПМ). Одно из преимуществ этих двигателей в том, что потери в обмотках возбуждения равны нулю. Производство таких двигателей налажено в Беларуси (ООО «Орион-мотор», Могилевский завод «Электродвигатель»).

За рубежом в гибридных автомобилях ведущее место занимают СДПМ. В этих двигателях используются постоянные магниты (ПМ) на основе редкоземельных элементов (РЗЭ), в основном неодим N_d с добавкой небольшого количества диспрозия.

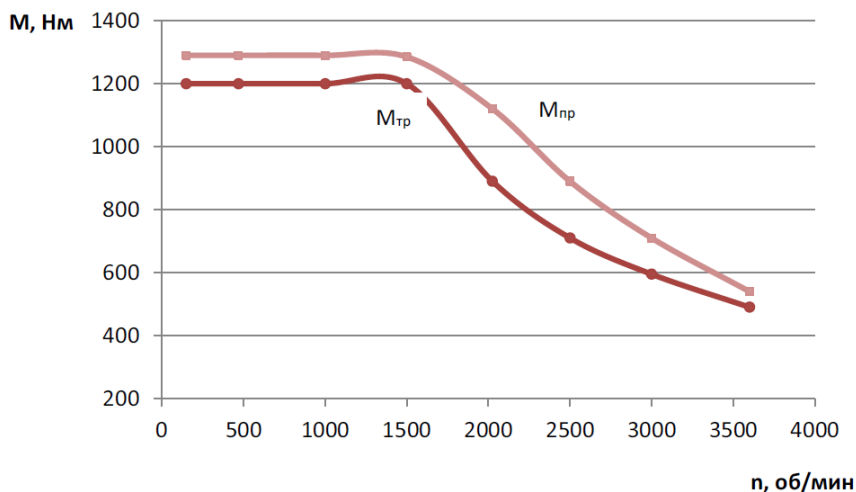


Рис. 3.5. Требуемый $M_{тр}$ и предельный $M_{пр}$.
Электромагнитные моменты ТАД в функции частоты вращения вала n

В настоящее время неодим не является дефицитным материалом и имеет приемлемую цену. Однако прогнозируется, что к 2030 г. в связи с бурным ростом производства гибридных и электроавтомобилей неодим станет дефицитным и его цена резко возрастет. По этой причине мировые производители тяговых электродвигателей ищут неодиму достойную и доступную замену, разрабатывая новые сплавы и марки ПМ или с низким содержанием РЗЭ, или заменяют их ферритами.

Все существующее многообразие СДПМ разделяется на две группы – с поверхностными постоянными магнитами (СДПМ, рис. 3.6) и с встроенными (инкорпорированными) постоянными магнитами (СДВПМ, рис. 3.7). СДПМ (рис. 3.6, а) относятся к неявнополюсным. Такие СДПМ находят применение в тяговом электроприводе легких тягово-транспортных средств. СДППМ (рис. 3.6, б) относятся к явнополюсным, характеризующимся неравенством индуктивных сопротивлений по осям d и q . Они не нашли практического применения в тяговом электроприводе.

СДВПМ (рис. 3.7) явнополюсные. Конструкция ротора СДВПМ, в которой постоянные магниты углублены в тело ротора, позволяют замыкаться продольной составляющей ротора практически по всему поверхностному объему ротора и за счет этого значительно повысить эффект размагничивания магнитного поля в воздушном зазоре и увеличить диапазон регулирования скорости СДВПМ с постоянством мощности $N_{\text{мех}} = \text{const}$.

Например, СДВПМ автомобиля Toyota Prius ($N_n = 50$ кВт и $n_{\text{ном}} = 1250$ мин⁻¹) имеет диапазон регулирования N_{const} до 6000 мин⁻¹ или $D_p = 4$.

Эти двигатели получили преимущественное распространение в качестве тяговых двигателей. Синхронные машины (СМ) разделяются на две большие группы: с радиальным магнитным потоком и с аксиальным потоком. Наибольшее распространение в качестве тяговых получают синхронные двигатели с радиальным магнитным потоком.

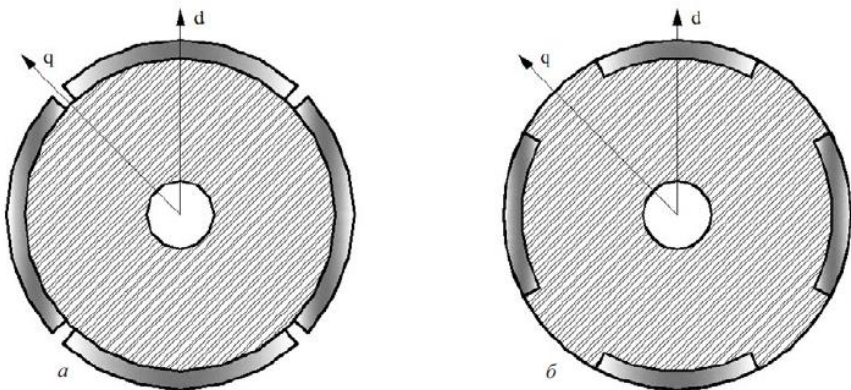


Рис. 3.6. Поверхностное расположение ПМ

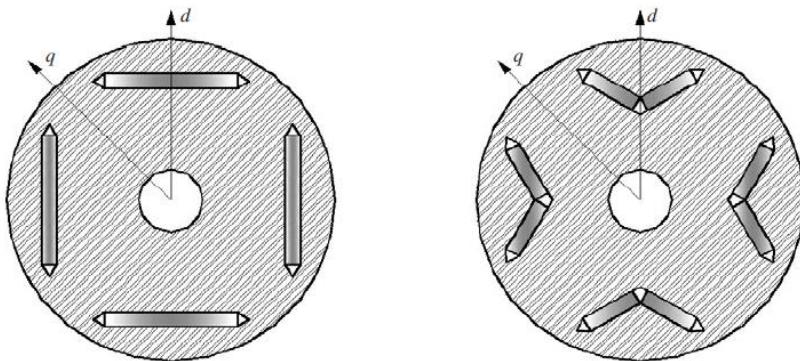


Рис. 3.7. Внутреннее расположение ПМ

Применение СДПМ на тракторах в открытой печати нам неизвестны, но на опытном гусеничном тракторе БЕЛАРУС мощностью 150 кВт применены два тяговых двигателя СДПМ.

Недостатком СДПМ является то, что несинусоидальность магнитного поля в воздушном зазоре из-за зубчатости статора и наличие реактивной составляющей момента при V-образной конфигурации ПМ способствует появлению пульсирующей составляющей момента Ферма и расположение ПМ в сердечнике ротора является важным фактором. При этом за счет оптимальных параметров формы и расположения ПМ удается минимальное значение пульсации снизить с 26% от среднего значения до 8%.

К настоящему времени к тяговым СДПМ выставлены следующие требования:

- большое значение крутящего момента при трогании с места и малые скорости в момент старта;
- большое значение мощности при скоростном движении;
- максимальный КПД в широком диапазоне крутящего момента и частоты вращения;
- большой диапазон частоты вращения при постоянной мощности, достигающий значения $D_n = 5$;
- оптимальное соотношение между M_{max} и кажущейся мощностью инвертора;
- способность к кратковременным перегрузкам до значения $M_{max} = 2$ МН;
- малое значение «зубцового» момента;
- конструкция ротора с фиксацией ПМ на оптимальное соотношение индуктивностей L_d/L_g .

Перспективным направлением в тяговом приводе рассматривается использование вентильных индукторных машин. Ротор вентильно-индукторного двигателя (ВИД) выполнен из шихтованного пакета электротехнической стали (рис. 3.8).

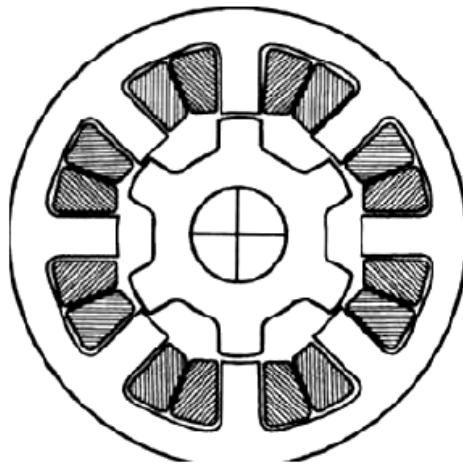


Рис. 3.8. Переключаемый вентильно-индукторный двигатель с 8 полюсами статора и 6 полюсами ротора

Особенностью конфигурации такого ротора является явнополюсная обычно зубчатая конструкция, позволяющая изменять магнитное сопротивление между статором и ротором в зависимости от положения ротора. При расположении на статоре обмоток возбуждения, питаемых от источника переменного тока, создается вращающееся магнитное поле. Из-за различия магнитных сопротивлений относительно продольной и поперечной осей машины возникает вращающийся момент, который поворачивает ротор в сторону, соответствующую минимальному индуктивному сопротивлению между статором и ротором или максимальному значению индуктивности.

Достоинство этих двигателей – относительно высокий КПД (выше чем в асинхронных) и ожидаемая низкая себестоимость при их серийном производстве.

Трудности вызывает технология изготовления ротора, вибрация ротора и повышенный шум при их работе. Совершенствование этих двигателей продолжается, и в перспективе они составят на сельскохозяйственных тракторах серьезную альтернативу асинхронным двигателям.

В настоящее время эти двигатели находят применение пока только в тяговых приводах опытных моделей боевой машины (шасси «Крымск»), трактора ДЭТ-20, самосвалах БелАЗ, городского транспорта (метро, троллейбус, трамвай).

За рубежом вентильно-индукторные двигатели в качестве тяговых не нашли широкого применения, но работа по их совершенствованию продолжается. Улучшение характеристик таких двигателей достигается установкой на роторе в барьерных полостях постоянных магнитов, изготовленных из феррита, а также за счет усовершенствования системы управления.

В таблице 3.1 приведено сравнение параметров тяговых двигателей опытных моделей шасси «Крымск», тракторов ДЭТ-20 и БЕЛАРУС-3023. На шасси «Крымск» и тракторе ДЭТ-20 установлены двигатели ВИД независимого возбуждения, а на тракторе БЕЛАРУС-3023 – асинхронный. Как видно из табл. 3.1 и рис. 3.9 синхронный двигатель уступает двигателям ВИД НВ по диапазону скоростного регулирования и КПД.

3.1. Сравнение тяговых двигателей

| Параметр, обозначение, размерность | | Тип и марка тягового средства | | |
|---|----------------|--|----------------|----------------------|
| | | Трактор ДЭТ-20 | Шасси «Крымск» | Трактор БЕЛАРУС-3023 |
| Тип тягового двигателя | | вентильный индукционный независимого возбуждения (ВИДНВ) | | асинхронный |
| Номинальная мощность, кВт | 110 | 35 | 183 | |
| Номинальное напряжение, В | 600 | – | 850 | |
| Действующее значение тока, А | 138 | – | 300 | |
| Номинальная частота вращения ротора, мин ⁻¹ | 650 | 650 | 1450 | |
| Номинальный момент, Н·м | 1616 | 514,2 | 1205,0 | |
| Максимальная частота вращения ротора, мин ⁻¹ | 4000 | 7200 | 3600 | |
| Крутящий момент при максимальной частоте вращения ротора, Н·м | 262 | 45,45 | 485,4 | |
| Диапазон скоростного регулирования Д | 6,154 | 11,08 | 2,48 | |
| КПД мотор-генератора / тягового двигателя, ηмг/ηтд, % | 0,942 0,952 | – | 0,93 | |
| Количество электродвигателей на одной машине | 2 | 8 | 1 | |
| КПД тягового электропривода | 0,8968 | – | 0,8649 | |

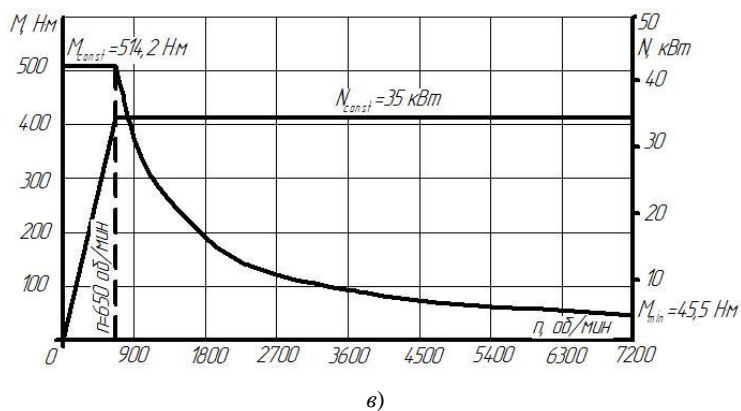
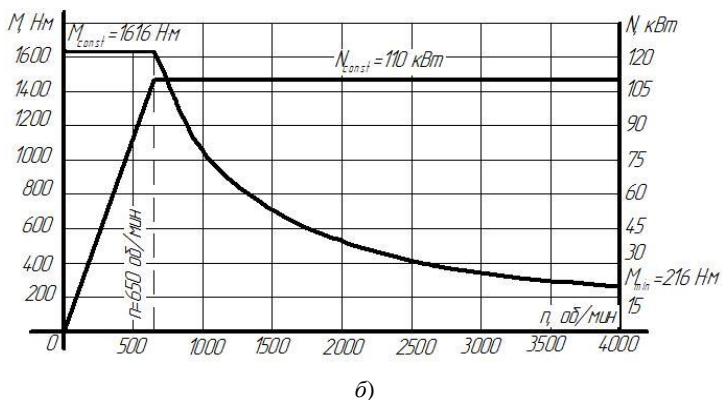
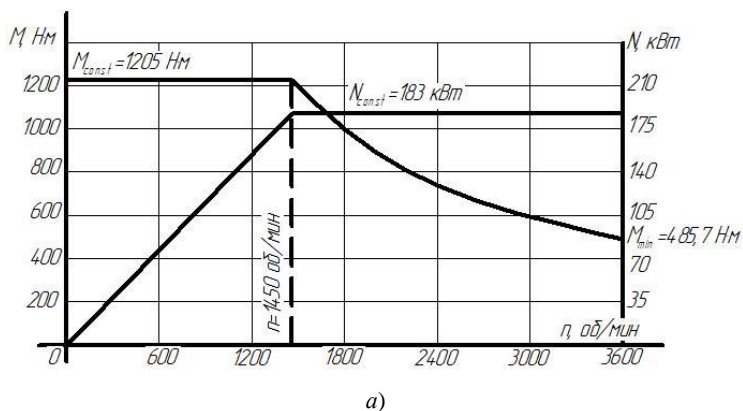


Рис. 3.9. Механическая характеристика тягового двигателя трактора БЕЛАРУС-3023 (а), трактора ДЭТ-20 (б) и шасси Крымск (в)

3.3. УПРАВЛЕНИЕ ТЯГОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

На сельскохозяйственных тракторах наиболее приемлемы тяговые двигатели переменного тока – асинхронные с короткозамкнутым ротором и вентильные индукторные.

Системы управления тяговыми асинхронными двигателями разделяются на три группы – скалярные, векторные и системы с разрывным управлением (рис. 3.10).

Скалярное управление базируется на математическом описании тяговых двигателей на установившемся режиме работы. Такие системы успешно применяются на железнодорожном и коммунальном транспорте, где сопротивление движению имеет более стационарный характер. Но при работе сельскохозяйственного МТА из-за переменного сопротивления обрабатываемого слоя почвы нагрузка на тяговый двигатель имеет явно выраженный колебательный характер. В такой ситуации скалярное управление не может обеспечить устойчивость работы электропривода.

Векторное управление используется для управления электроприводов, требующих точного и безинерционного регулирования, к которым можно отнести и тяговые электроприводы тракторов.

При векторном управлении отдельно управляют двумя компонентами вектора тока – током намагничивания и активным током. Векторное управления характеризуется более сложными алгоритмами, регулируемыми векторные преобразования переменных. При векторном управлении применяют:

- модели изменения поля ротора;
- векторные преобразования измерений тока статора во вращающуюся систему координат, ориентируемую по направлению вектора поля статора;
- задание активной компоненты тока в соответствии с желаемым характером изменения величины поля; при этом критерием формирования тока намагничивания является минимизация потерь или реализация предельных значений момента при ограничениях тока и напряжения двигателя;
- формирование компонентов напряжения, обеспечивающих заданные значения компонентов токов;
- обратное векторное преобразование сформированных значений компонентов вектора напряжения из вращающейся в неподвижную систему координат и реализация последних в автономном инверторе напряжения (АИН) в качестве среднего (эквивалентного) напряжения на периоде широтно-импульсной модуляции (ШИМ) частота ШИМ выбирается исходя из минимума потерь в комплексе «двигатель-силовой преобразователь», а алгоритмы переключения соответствуют максимальному использованию напряжения звена постоянного тока (векторная ШИМ). По такому алгоритму выполнено векторное управление тяговым электроприводом трактора БЕЛАРУС-3023.

Для вентильно-индукторных двигателей рекомендуются преимущественно системы векторного управления с ПИ-регулятором тока и ШИМ.

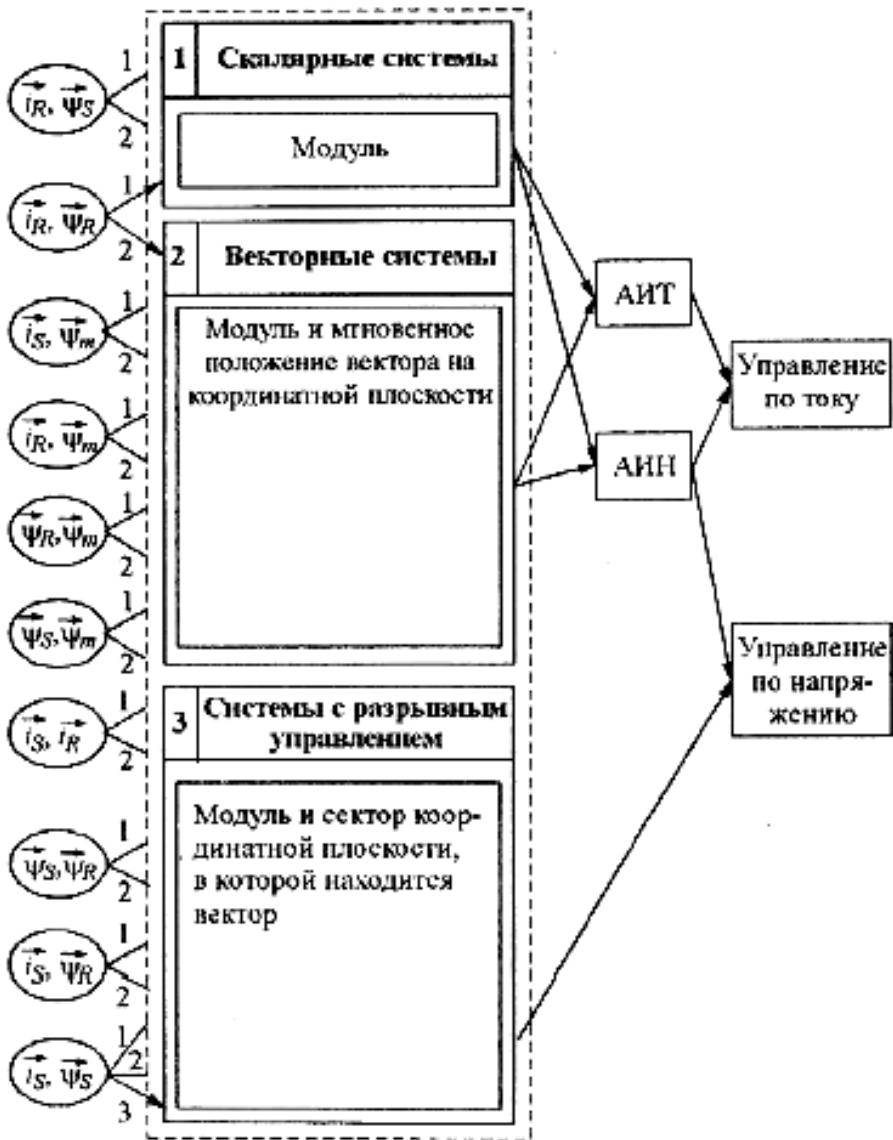


Рис. 3.10. Классификация систем управления асинхронными двигателями

4. ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ СЕЛЬХОЗМАШИН И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

4.1. КАРТИРОВАНИЕ ПОЛЕЙ

При картировании поле делится на клетки, в каждой из которых берутся почвенные образцы. Все образцы анализируются отдельно на содержание гумуса, основных питательных элементов, кислотность, после чего создаются карты свойств почвы. Они используются для создания рекомендаций по внесению удобрений под усредненный по полю планируемый урожай: в зонах, где имеется недостаток питательных веществ, вносится больше удобрений, а в зонах, где избыток питательных веществ, – меньше.

Главные недостатки данного метода – он является самым дорогостоящим в точном земледелии, самым трудоемким, самым неточным и самым архаичным. По данным американских ученых для получения реальной картины пестроты почвенного плодородия необходимо брать очень много образцов. Но чтобы сделать этот метод рентабельным, приходится значительно уменьшать их количество. Компании, предлагающие отбор образцов по сетке на российском рынке, рекомендуют сетку от 5 до 20 га, что на 2 порядка меньше, чем требуется по строгим правилам науки. Земледелие в таких случаях перестает быть «точным».

В результате анализа получается определенная картина распределения питательных элементов в почве в пределах поля, по которой невозможно судить о выносе питательных веществ из почвы растениями и потенциальной урожайности. Дело в том, что на урожайность влияет множество факторов внешней среды, которые невозможно определить с помощью простого анализа по сетке. На практике нередко приходится сталкиваться с ситуацией, когда содержание НРК в почве достаточно для получения высокой урожайности, но по другим причинам (влажность, состояние почвы, кислотность и другие) растения не могли использовать эти элементы.

Мобильный агрегат для отбора почвенных проб представляет собой транспортное средство высокой проходимости (трактор, внедорожный автомобиль рис. 4.1) с установленным на нем автоматическим пробоотборником, способным отбирать образцы на глубине до 30 см (некоторые модели – до 60 см).

Необходимым компонентом агрегата является бортовой компьютер с системой спутниковой навигации и специальным программным оборудованием, способным обрабатывать карту заданного поля, на которой предварительно отмечены точки отбора проб. Агрегат объезжает поле в соответствии с картой-заданием, останавливаясь на каждой из отмеченных точек, после

чего ведется забор почвенных образцов. Образцы складываются в специальной таре и отправляются в лабораторию для химического анализа.

Комплекса машин для реализации системы точного земледелия. Для отбора почвенных образцов применяли пробоотборник, смонтированный на базе внедорожника УЭСМ 204 «Роса» – машина мониторинга ММ-«Роса» (рис. 4.2 и 4.3). Особенностью данной машины является возможность отбора проб на почвах с низкой несущей способностью в ранневесенний период.



Рис. 4.1. Мобильный комплекс для отбора почвенных образцов компании «Агрофизпродукт» (Россия)



Рис. 4.2. Пробоотборник ООО «АГРОМАШРЕСУРС»



Рис. 4.3. Пробоотборник ООО «АГРОМАШРЕСУРС» (вид сзади)

Отбор почвы осуществляется при помощи специального бура, способного отбирать образцы на глубину не менее 25 см. Отбор 1 пробы занимает не более 1 мин. За час машина может взять образцы с поля площадью 30...50 га.

Три поля, предназначенные для посева ячменя, тритикале и кукурузы разбиты на участки, на которых составлен план отбора образцов. Расположение точек отбора проб на контрольных полях представлено на рис. 4.4 – 4.6.

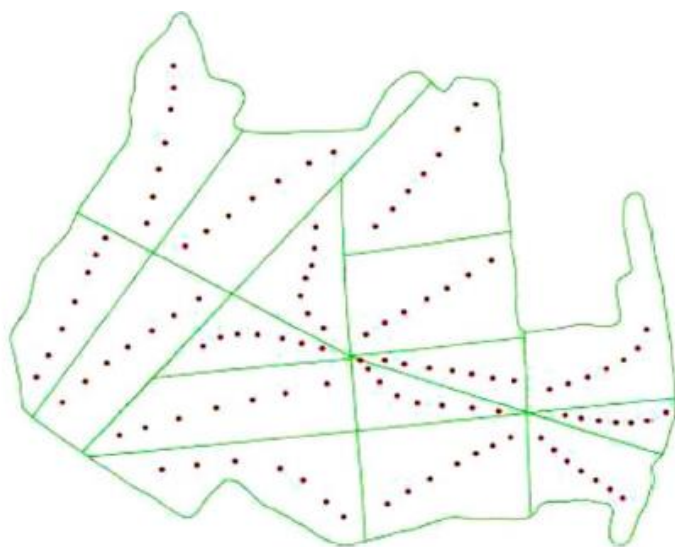


Рис. 4.4. Точки отбора проб на поле для озимой тритикале

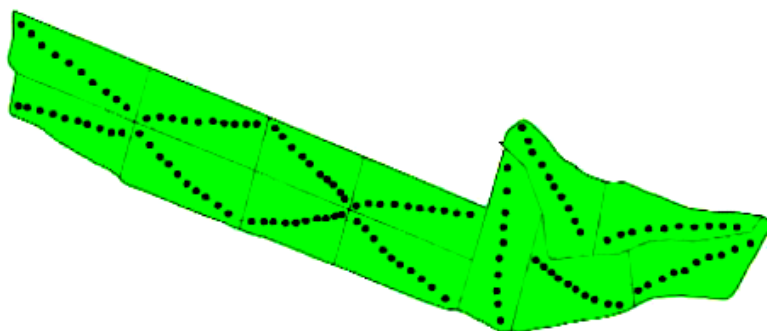


Рис. 4.5. Точки отбора проб на поле для ярового ячменя

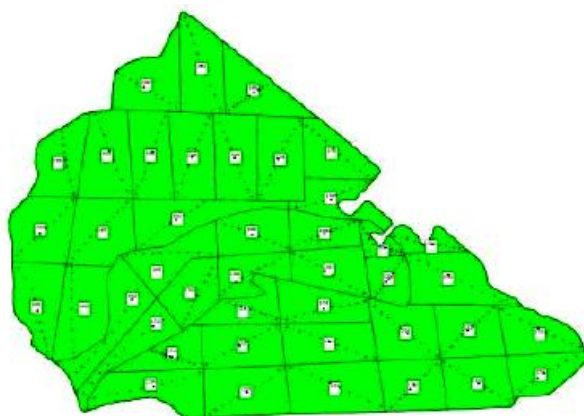


Рис. 4.6. Точки отбора проб на поле для посева кукурузы

С учетом проблем, которые поднимает метод химического анализа почв, была выдвинута идея мониторинга урожайности сельскохозяйственных культур. В 90-х годах XX в. технологии позволили создать приемлемое по соотношению цена / надежность оборудование, способное записывать данные об урожайности во время уборки в режиме реального времени. Впоследствии эти данные анализируют при помощи компьютера. Появление оборудования для мониторинга урожайности дало резкий стимул развитию технологий точного земледелия за счет значительного увеличения скорости сбора информации и точности анализа.

Данный метод картирования имеет следующие преимущества: возможность точного определения пестроты плодородия в пределах поля при значительном уменьшении затрат на анализ неоднородности полей по сравнению с отбором почвенных образцов по сетке; при правильной калибровке монитор урожайности сразу дает абсолютные данные по урожайности, т.е. т/га;

высокая детализация картирования; возможность создания точных границ полей.

К недостаткам метода необходимо отнести следующие: метод не учитывает почвенные условия; дополнительные капиталовложения (более высокая цена уборочного оборудования); необходима точная калибровка каждого прибора и регулярная ее проверка (до нескольких раз за смену).

Последний из обозначенных недостатков не позволяет использовать систему для хозяйственного учета урожайности в абсолютных значениях, а только для сравнительного анализа участков на территории одного поля (на одном участке урожайность выше, чем на другом, на третьем – выше, чем на втором, на четвертом – ниже, чем на третьем и т.д., что отображается цветом на карте). Более того, суммирование погрешностей может дать значительные отклонения от истинной картины урожайности при работе на поле нескольких уборочных машин, оснащенных мониторами урожайности.

В состав системы мониторинга урожайности, как правило, входит GPS- и GSM-антенна, полевой компьютер (монитор) со встроенным GPS-приемником, комплект проводов, блок управления со встроенным датчиком угла наклона, оптические датчики урожайности; датчик определения влажности зерна; датчик определения положения жатки, калибровочное устройство для определения насыпной плотности убираемой культуры, комплект кронштейнов для крепления полевого компьютера, датчиков влажности и блока управления.

Полевой компьютер (монитор) со встроенным GPS-приемником (рис. 4.7) устанавливается при помощи кронштейна в кабине комбайна и служит для сбора и отображения данных об урожайности и влажности убираемой культуры, убранной площади и массы зерна с убранного участка и указания траектории движения комбайна. Также на мониторе полевого компьютера можно просматривать карты урожайности полей убранных участков. Компьютер оснащен сенсорным дисплеем.

Антенна GPS и GSM служит для передачи и приема данных со спутника о местоположении комбайна и передачи информации об урожайности на RTK-станцию хозяйства. Антенна устанавливается на крыше кабины комбайна при помощи магнита, входящего в состав антенны.

RTK-станция служит для приема, обработки и хранения информации об урожайности зерновых. На RTK-станции хранятся все принятые данные и от других машин, работающих в системе точного земледелия.

Датчик определения положения жатки предназначен для контроля положения жатки. Устанавливается на наклонной камере комбайна с целью точного определения убранной комбайном площади.

Блок управления со встроенным датчиком угла наклона комбайна предназначен для сбора информации от датчиков системы и передачи на полевой компьютер. Устанавливается при помощи кронштейна с магнитами на вертикальной поверхности комбайна.

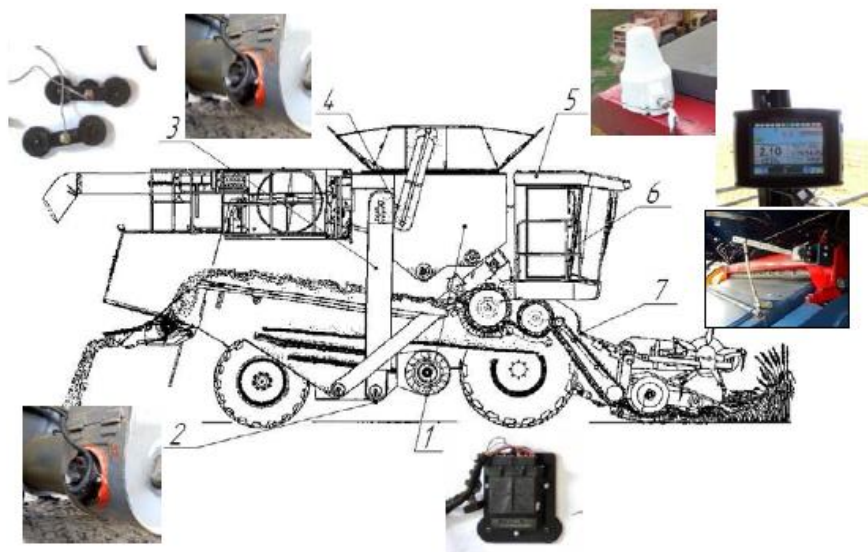


Рис. 4.7. Вид на составные элементы системы картирования урожайности и места установки их на комбайн:

- 1 – блок управления со встроенным датчиком угла наклона;
- 2 и 4 – датчик определения влажности зерна (устанавливается в одно из мест);
- 3 – оптические датчики урожайности; 5 – GPS- и GSM-антенна;
- 6 – полевой компьютер (монитор) со встроенным GPS-приемником;
- 7 – датчик определения положения жатки

Датчики урожайности с оптическими линзами предназначены для определения количества зерна, проходящего за единицу времени через зерновой элеватор комбайна. Устанавливаются при помощи кронштейнов с магнитами на боковых стенках корпуса зернового элеватора.

Принцип работы датчиков основан на определении объема зерна в ковше элеватора по времени перекрытия луча. При сборе урожая ковш элеватора с зерном перекрывает световой луч, исходящий от одного из датчиков. Время перекрытия зависит от объема зерна в каждом ковше элеватора.

Датчик определения влажности зерна предназначен для определения влажности убираемого зерна. Устанавливается на нижней крышке для обслуживания зернового элеватора или в верхней части кожуха загрузного шнека. Устанавливается в нижней части (на крышке) зернового элеватора или нижней части кожуха загрузного шнека зернового элеватора. Для установки датчика влажности нужно проделать отверстие диаметром ≈ 120 мм и три отверстия для крепления болтовым соединением.

Процесс работы системы картирования урожайности осуществляется следующим образом: антенна принимает сигнал со спутника и передает его

в полевой компьютер, который указывает положение комбайна на поле, датчики измеряют количество зерна, собранного в данном участке поля, его влажность и угол наклона комбайна относительно горизонтали. Информация от датчиков передается в блок управления, после чего эта информация объединяется с координатами, полученными от антенны, рассчитывается и отображается на мониторе полевого компьютера и одновременно записывается на диск компьютера. Для просмотра на компьютере карт урожайности их нужно записать на съемный электронный носитель и переместить на персональный компьютер.

Зерноуборочный самоходный комбайн КЗС–1218-27 «Палессе GS12», оснащенного системой контроля урожайности фирмы «TRIMBLE» (США). Данная система монтируемого типа. Оперативная трудоемкость монтажа системы составила 8 чел.-ч. Система контроля урожайности фирмы «TRIMBLE» имеет сложную и трудоемкую настройку и калибровку при уборке конкретной культуры и возможна только с помощью квалифицированного специалиста. Следует отметить, что в результате испытаний при уборке комбайном зерновых культур с влажностью более 30% (например, кукурузы с влажностью > 30%) происходит сбой в работе системы в виде отображения некорректных данных.

Среднее отклонение данных от фактических на уборке ячменя с урожайностью 4,4 т/га составило 4,5%, на уборке тритикале урожайностью 4,6 т/га составило 2,5%.

Для контроля посевов используется беспилотный летающий аппарат (квадрокоптер) с установленной на нем мультиспектральной камерой (рис. 4.8).

Высота полета БЛА – 150 м, средняя скорость – 30 км/ч. Примерная производительность – 100 га/ч при частоте съемки 12 кадров/мин.

Метод электропроводности почвы основан на различной способности почвы проводить электрический ток в зависимости от концентрации в ней анионов и катионов, а также от ее влажности.



Рис. 4.8. Беспилотный летательный аппарат на пусковой площадке (слева) и в воздухе (справа)

Он популярен в регионах, где засоленность или кислотность почв являются основными факторами, ограничивающими урожайность. Метод широко изучается в Австралии, США и других странах. Анализ электропроводности почвы может быть полезным для определения участков с повышенной кислотностью почв или их засолением.

В некоторых случаях он хорошо разделяет почвы различных типов. Данные измерения ЭП могут использоваться для создания электронных границ полей.

Измерение электропроводности в поле осуществляется с помощью различных машин, как правило, агрегируемых с трактором. К дискам или лапам машин подведены контакты для измерения, записывающиеся на бортовом компьютере машины. Данный метод не всегда коррелирует с концентрацией элементов питания растений в почве и должен применяться с осторожностью.

Дистанционный мониторинг (рис. 4.9 и 4.10) используется, как правило, для азотной подкормки, точечного применения гербицидов при отсутствии основной культуры и т.д. Большинство оптических датчиков работает по тому же принципу, что и спутниковые камеры. При их применении доза вносимого азота определяется косвенно по содержанию хлорофилла в листьях.

Данный метод дает приемлемые результаты на ровных полях, где различия между растениями ограничиваются только содержанием азота и где нет заметной разницы по высоте растений.

Существуют датчики, принцип действия которых основан не на измерении поглощения света в красной части спектра, а на анализе флуоресценции хлорофилла. Как показывает анализ исследований, они дают более точные результаты, чем датчики, использующие вегетационные индексы. Однако и они оценивают содержание азота по содержанию хлорофилла.

Преимуществами оптических датчиков являются гибкость в применении и независимость от облачности.

В числе недостатков следует назвать высокую стоимость.



Рис. 4.9. Агрегат для внесения удобрений с установленным датчиком азота (Yara N-sensor)



Рис. 4.10. Общий вид на бесконтактную систему измерения свойств почвы Geoprospectors KG Topsoil Mapper

4.2. ВНЕСЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ

Для работы в системе точного земледелия фирмами-производителями машин для внесения удобрений и опрыскивателей предлагается ряд решений.

В первую очередь – это совместимость со стандартом ISOBUS с целью подключения к терминалу трактора. Управление дозой внесения, открытие и закрытие заслонок, включение устройств для обработки поворотных полос осуществляется автоматически в зависимости от типа удобрений, дозы и других параметров.

На основании анализа состояния почвы выбранных проб составляются картограммы содержания подвижных форм фосфора и калия, а также картограммы кислотности и известкования почвы (рис. 4.11 – 4.13).

Для оценки эффективности дифференцированного внесения удобрений на каждом поле специалистами ГУ «Белорусская МИС» определены опытные и контрольные участки, соответственно, для дифференцированного и традиционного внесения минеральных удобрений (рис. 4.14 – 4.16) и определены дозы внесения минеральных удобрений.

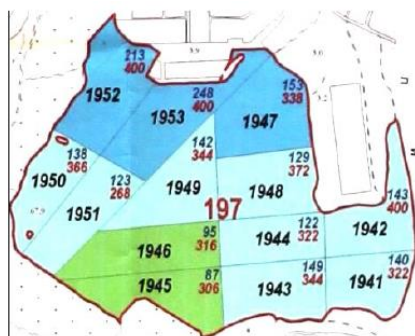


Рис. 4.11. Картограмма содержания подвижных форм фосфора и калия в почвах

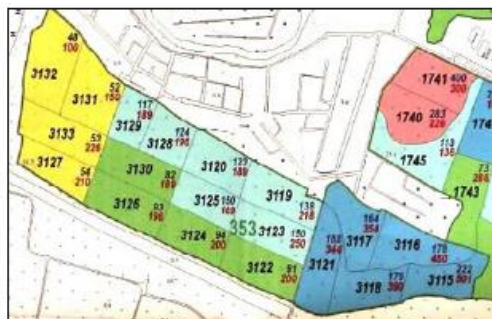


Рис. 4.12. Картограмма содержания подвижных форм фосфора и калия в почвах

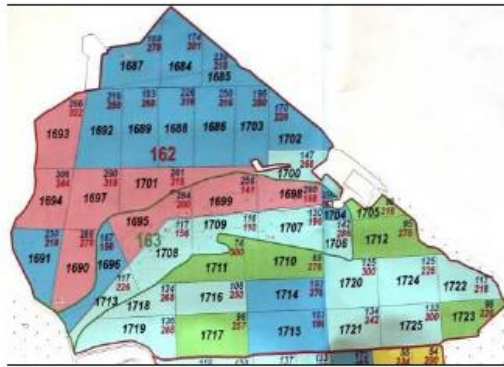


Рис. 4.13. Картосхема содержания подвижных форм фосфора и калия в почвах

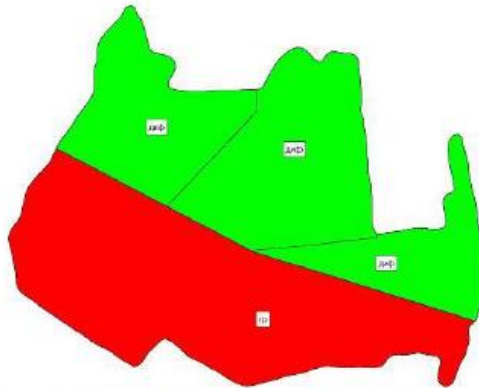


Рис. 4.14. Участки для дифференцированного и традиционного внесения минеральных удобрений (тритикале)



Рис. 4.15. Участки для дифференцированного и традиционного внесения минеральных удобрений (яровой ячмень)

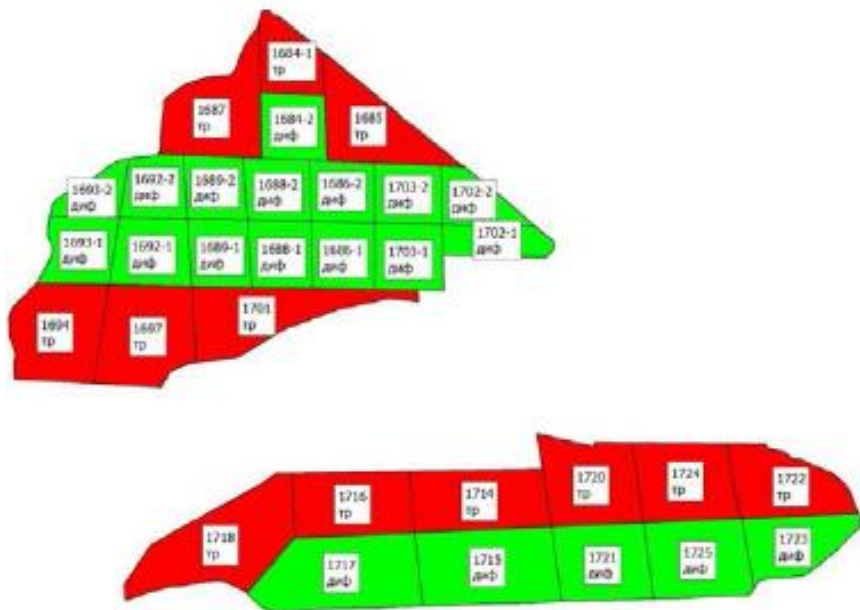


Рис. 4.16. Участки для дифференцированного и традиционного внесения минеральных удобрений (кукуруза)

Внесение КАС и твердых минеральных удобрений осуществлялось следующими машинами:

- опрыскиватель «ROSA» ООО «АГРОМАШРЕСУРС» (рис. 4.17, 4.18);



Рис. 4.17. Опрыскиватель «ROSA» ООО «АГРОМАШРЕСУРС»

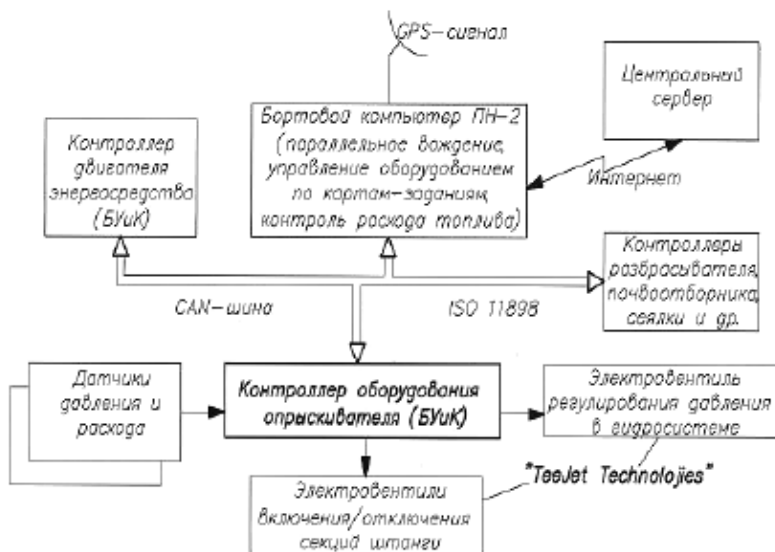


Рис. 4.18. Система управления опрыскивателем «ROSA»

- машина для внесения твердых удобрений MBTU «ROSA» ООО «АГРО-МАШРЕСУРС» (рис. 4.19, 4.20);
- разбрасыватель минеральных удобрений «AMAZONE» ZA-M-3000 ULTRA (рис. 4.21).

Разбрасыватели удобрений, адаптированные для использования в системе точного земледелия, выпускают практически все ведущие производители: Amazone, Sulky, Rauch и др.

Например, фирма «Kwerneland» предлагает серию разбрасывателей Ехаста TL, оснащенных компьютерами (рис. 4.22, 4.23). Кроме вышеперечисленных функций, машина имеет 4 весовых тензодатчика (рис. 4.24, 4.25), плюс еще один корректирующий, который помогает устранять колебания системы, учитывает уклоны местности.



Рис. 4.19. Машина для внесения твердых удобрений MBTU «ROSA» ООО «АГРОМАШРЕСУРС»

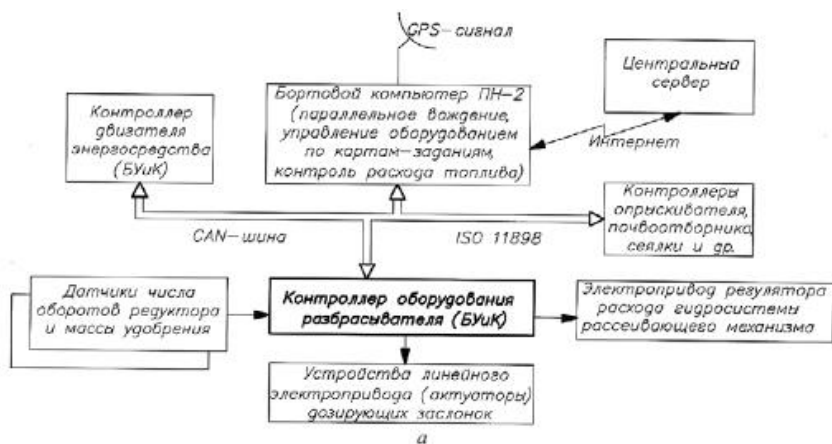


Рис. 4.20. Система управления машины для внесения твердых удобрений MBTU «ROSA»:
 а – общая схема управления;
 б – контроллер с актуаторами на тягах управления заслонками;
 в – видеореамеры системы управления; г – шкалы дисков



Рис. 4.21. Разбрасыватель минеральных удобрений «AMAZONE» ZA-M-3000 ULTRA в агрегате с трактором «CASE 210»



Рис. 4.22. Разбрасыватель минеральных удобрений Kverneland Exacta TL



Рис. 4.23. Меню isobus терминала фирмы Kverneland, подключенного к разбрасывателю



Рис. 4.24. Система взвешивания с 5 датчиками массы



Рис. 4.25. Система управления шириной внесения удобрений на краю поля

4.3. ПОСЕВ

Практически все посевные агрегаты и сеялки ведущих производителей подготовлены для работы в системе точного земледелия и позволяют осуществлять дистанционное автоматическое изменение дозы внесения удобрений и нормы высева семян в зависимости от информации, передаваемой бортовым компьютером.

Для этого в посевной технике широкое распространение получают бесступенчатые приводы дозировщиков семян, с помощью которых можно изменять норму высева во время движения по полю. В сочетании с электронной настройкой, управляемой по системе GPS, это позволяет осуществлять посев специфически для каждого участка поля. Такие фирмы, как «LEMKEN», «KVERNELAND», «HORSCH», «AMAZONE», «KOKERLING», «VADERSTAD» все больше используют данные системы в комплектации своей продукции.

Так, сеялка пунктирного высева «MONOPILL SE» (18-рядная) предназначена для высева дражированных семян свеклы и семян аналогичных пропашных культур в подготовленную почву (табл. 4.1).

Сеялка навесного типа (рис. 4.26) в рабочем положении и полуприцепная в транспортном положении состоит из следующих узлов и механизмов: транспортного устройства, состоящего из дышла (сницы со штангой) и двух задних кронштейнов с транспортными колесами, управляемых гидроцилиндрами; общей рамной конструкции с элементами навески на трактор; двух рамных брусьев крепления секций; 18 высевающих секций с индивидуальным электроприводом высевающих дисков (рис. 4.27, 4.28); четырех пневматических опорно-ходовых колес; механизма маркеров с гидрооборудованием

и электрооборудования, включающего 18 индивидуальных электродвигателей привода высевающих дисков, питаемых от генератора трактора, вырабатывающего напряжение 12...14 В, и коммутационно-управляющую аппаратуру с программным управлением процесса точного высева семян с пультом управления и контроля выполняемых процессов.

4.1. Техническая характеристика сеялки

| Показатель | Значение по данным изготовителя |
|---|------------------------------------|
| Марка сеялки | «MONOPILL SE» |
| Тип сеялки | Навесная механическая |
| Масса, кг | 2650 |
| Количество высевающих секций, шт. | 18 |
| Привод высевающих дисков | Электропривод |
| Механизм захвата семян | Механический, в ячейки дисков |
| Вместимость бункеров для семян, дм ³ | 9×18 шт. |
| Ширина междурядий, см | 45; 50 |
| Габаритные размеры сеялки, мм: в рабочем положении: | |
| – длина | 3000 |
| – ширина (без учета маркеров) | 9380 |
| – высота (без учета маркеров) | 1200 |
| – высота (с учетом маркеров) | 2510 |
| в транспортном положении: | |
| – длина | 10 220 |
| – ширина | 2980 |
| – высота | 2860 |
| Дорожный просвет, мм | 300, не менее |
| Конструктивная ширина междурядий, см | 45 |
| Количество высевающих секций, шт. | 18 |
| Тип высевающего аппарата | Механический дисковый |
| Номинальное напряжение питания, подаваемое на электропривод высевающих аппаратов, В | 12 |
| Тип сошника для посева семян | Анкерный |



Рис. 4.26. Вид на сеялку «MONOPILL SE» в агрегате с трактором при выполнении технологического процесса посева свеклы



Рис. 4.27. Вид (сбоку) на высевающую секцию сеялки пунктирного высева «MONOPILL SE» с электроприводом высевающего диска

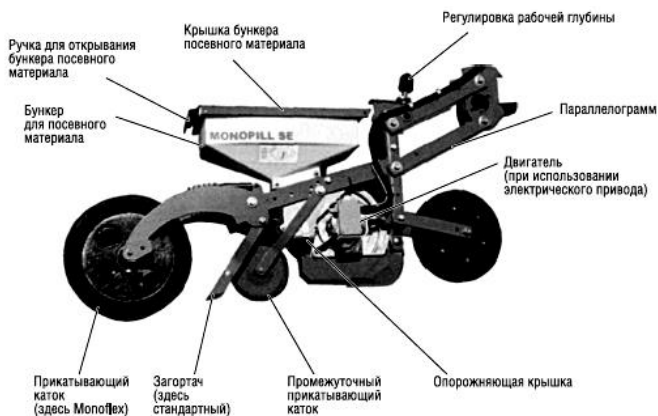


Рис. 4.28. Конструкция высевающей секции сеялки «MONOPILL SE» с электроприводом высевающего диска

Технологический процесс, выполняемый сеялкой, осуществляется следующим образом: после переезда МТА в поле проводят перевод сеялки из транспортного положения в рабочее. В 18 бункеров высеваящих секций загружаются семена свеклы. Осуществляется предварительная настройка высеваящих секций на глубину заделки семян и с использованием терминала процессора (пульта управления и настройки) производится регулировка требуемой нормы высева семян. Трактор с сеялкой устанавливается в рабочий проход, сеялка опускается в рабочее положение, включается пульт управления и трактор с сеялкой движется на рабочей скорости (от 4 до 8 км/ч) по подготовленному полю строго прямолинейно.

При движении опорных колес сеялки электрический сигнал от датчика регистрации скорости движения (установлен на одном опорном колесе) поступает в процессор терминала, обрабатывается в соответствии с заданной программой выполнения технологического процесса и соответствующий импульс подается в электродвигатели привода высеваящих дисков. При движении сеялки диски вращаются с определенной частотой, соответствующей скорости движения МТА и установленной норме высева семян. При вращении дисков в ячейки попадают семена свеклы и при нижнем расположении ячеек выпадают в сформированные сошниками бороздки. Перед сошниками расположены катки комковдаватели, которые раздавливают комочки почвы, подуплотняют и выравнивают верхний слой почвы. Идущий следом каточек подуплотняет (вдавливает) семена в почву. Загортачи металлические подпружиненные насыпают почву в канавки и над канавками, а обрешиненные профилированные катки (колеса) прикатывают ее.

Регулировка глубины заделки семян осуществляется посредством изменения положения опорно-прикатывающих колес высеваящих секций, а расстояние раскладки между семенами с использованием пульта терминала электронного процессора, управляющего работой (частотой вращения) электродвигателей привода высеваящих дисков.

При применении точного GPS-сигнала и новейшего аппаратного обеспечения ISOBUS секции с электроприводом высеваящего диска индивидуально автоматически отключаются на краю поля или при достижении уже засеянных участков поля, автоматически (дифференцировано) во время движения могут изменять норму высева в зависимости от участка поля (при использовании карт полей в системе точного земледелия). При этом может быть настроена укладка семян треугольно-гнездовым или квадратно-гнездовым способами (рис. 4.29).

Сеялка пневматическая «Solitaig 9/600KA-DS» с культиватором модели «Smaragd 9/600 KUA» (далее – сеялка) предназначена для рыхления и выравнивания почвы с последующим высевом семян зерновых и других культур в подготовленную почву (табл. 4.2).

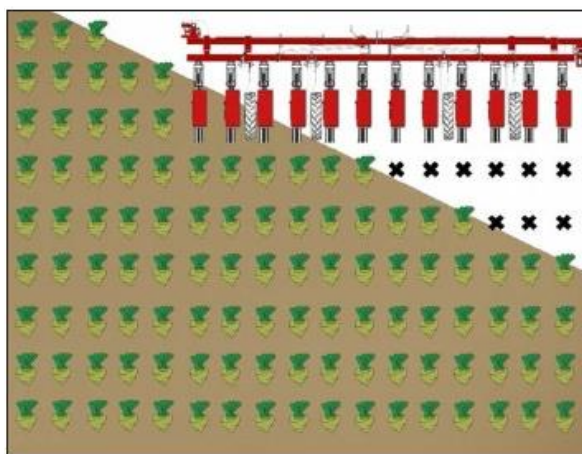


Рис. 4.29. Схема работы отключения посевных секций сеялок точного высева с электроприводом высевających дисков на краю поля

4.2. Техническая характеристика сеялки

| Наименование показателя | Значение по данным изготовителя |
|---|---------------------------------|
| Тип сеялки | Полуприцепной |
| Масса, кг сеялки культиватора | 1690 5000 |
| Количество засеваемых рядов, шт. | 48 |
| Ширина междурядий (расстояние между сошниками), см | 12,5 |
| Конструктивная ширина захвата, м | 6,0 |
| Вместимость бункера для семян, дм ³ | 2300 |

Сеялка полуприцепного типа (рис. 4.30, 4.31) состоит из следующих узлов и механизмов: несущей рамной конструкции с пневматической ходовой системой; культиватора почвообрабатывающего, включающего следующие рабочие органы: стрельчатые разноуровневые лапы (два ряда) на усиленных подпружиненных стойках; ряда дисков-дискаторов, регулируемых по глубине внедрения в почву и катка металлического цилиндрического с рядами кольчато-шпоровых выступов, образующих уплотнение посевных дорожек; двухдисковых сошников с прикатывающими обрезиненными колесами; бункера зернового с механизмом дозирования (с приводом от электродвигателя питаемого от электрооборудования трактора (рис. 4.32)) и транспортирования семян с использованием вентилятора с гидромотором; элек-

тронно-электрического оборудования установки и дозирования нормы высева семян с элементами контроля выполнения технологического процесса; маркеров; гидрооборудования и лестницы для обслуживания бункера.

Технологический процесс, выполняемый сеялкой, осуществляется следующим образом. При движении его по полю (рис. 4.33) стрелчатые разноуровневые лапы подрезают, разбивают и частично оборачивают пласт почвы, диски-дискаторы затем в большей степени измельчают почву и перемешивают ее.

Идущий следом металлический каток уплотняет взрыхленную почву, а кольчато-шпоровые выступы образуют в ней уплотненные канавки, в которые в последующем попадают семена из дисковых сошников. При движении сеялки радар (рис. 4.34) фиксирует текущую скорость движения и компьютер автоматически задает параметры вращения ротора электродвигателя для привода высевающих аппаратов с обеспечением заданной нормы высева семян.



Рис. 4.30. Общий вид сеялки пневматической «Solitaire 9/600 KA-DS» с культиватором модели «Smaragd 9/600 KUA» с пассивными рабочими органами



Рис. 4.31. Общий вид сеялки пневматической SOLITAIR 9/600 KA-DS с культиватором универсальным SMARAGD 9/600 K-UE-A/B в транспортном положении



Рис. 4.32. Электродвигатель привода высевяющих аппаратов регулировки нормы высева



Рис. 4.33. Общий вид (сбоку) сеялки пневматической «Solitaire 9/600KA-DS» с культиватором модели «Smaragd 9/600 KUA», при выполнении технологического процесса



Рис. 4.34. Элемент (радарного типа) регистрации текущей скорости движения сеялки

Семена из бункера подаются высевальными аппаратами (4 шт.) катушечного типа (с приводом от электродвигателя), далее посредством вентилятора (с приводом от гидромотора) транспортируются по семяпроводам и от делительных головок поступают в сошники. Идущие за сошниками обрезиненные колеса прижимают семена к посевному ложу. Норма высева семян устанавливается и поддерживается автоматически в результате специального электронного устройства (пульта управления), располагающегося в кабине трактора.

С помощью ISOBUS и GPS в контроллере задач можно планировать переменные нормы высева с учетом местных условий и выполнять автоматическую дозировку.

Посевной комплекс в составе с бункерной тележкой «FLEXCARD» и сеялкой точного высева для кукурузы «Optima HD» (далее – комплекс) предназначен для посева зерна кукурузы с одновременным внесением минеральных удобрений в подготовленную почву (табл. 4.3).

Комплекс полунавесного типа (рис. 4.35) состоит из рамной конструкции с бункерной тележкой с элементами навески для подсоединения сеялки точного высева, сеялки точного высева с двенадцатью высевальными секциями с электроприводом высевальных дисков индивидуально, двух пневматических опорно-приводных колес, оборудования для внесения твердых минеральных удобрений с механизмом привода высевальных аппаратов катушечного типа (с приводом от электродвигателя) для бункерной тележки, вентилятора вакуумного с системой воздухопроводов, электрооборудования и гидрооборудования.

Технологический процесс, выполняемый комплексом, осуществляется следующим образом: после заполнения бункеров сеялки семенами и бункера бункерной тележки удобрениями и установки требуемых норм их высева комплекс на рабочей передаче трактора с включенным ВОМ движется по подготовленному к посеву полю (рис. 4.36).

4.3. Техническая характеристика комплекса

| Показатель | Значение по данным изготовителя |
|--|---------------------------------|
| Тип комплекса | Полуприцепной |
| Ширина междурядий (расстояние между сошниками), см | 70, 75, 80 |
| Конструктивная ширина захвата, м | 9,0 (12 рядов) |
| Вместимость бункера для удобрений, дм ³ | 4300 |
| Вместимость бункера для семян, дм ³ | 50×12 |
| Вес, кг | 12 000 |



Рис. 4.35. Общий вид бункерной тележки «FLEXCARD» с сеялкой точного высева для кукурузы «Optima HD» в рабочем положении



Рис. 4.36. Общий вид бункерной тележкой «FLEXCARD» с сеялкой точного высева для кукурузы «Optima HD» при выполнении технологической операции

При движении комплекса (рис. 4.37) радар фиксирует текущую скорость движения и компьютер автоматически задаст параметры вращения ротора электродвигателя (рис. 4.38) для привода высевующих аппаратов бункерной тележки с обеспечением заданной нормы внесения удобрений. Удобрения из бункера подаются высевующими аппаратами (2 шт.) катушечного типа (с приводом от электродвигателя), далее посредством вентилятора (с приводом от гидромотора) транспортируются по семяпроводам и от делительных головок поступают к сошникам. Одновременно в соответствии с заданной программой выполнения технологического процесса соответствующий импульс подается в электродвигатели привода высевующих дисков посевных

секций (рис. 4.39) и под воздействием разряжения, создаваемого вентилятором сеялки, семена присасываются к отверстиям высевальных дисков. В нижней части вращающихся высевальных дисков семена отделяются от дисков и поступают в образуемые двухдисковыми и наральниковыми сошниками бороздки. Семена, расположенные в бороздке, для обеспечения контакта с почвой и избежания воздушных полостей засыпаются и прикатываются колесами для прижатия семян.



Рис. 4.37. Элемент (радарного типа) регистрации текущей скорости движения посевного комплекса



Рис. 4.38. Вид на электродвигатель привода высевальных аппаратов регулировки нормы внесения удобрений



Рис. 4.39. Вид на электродвигатель привода высеваящего диска посевной секции сеялки

При выполнении процесса посева кукурузы данным комплексом в результате применения точного GPS-сигнала и аппаратного обеспечения ISOBUS (рис. 4.40) можно изменять норму внесения удобрений в каждом участке поля отдельно и одновременно изменять норму высева семян на каждой секции по отдельности при использовании комплекса в системе точного земледелия при помощи карт полей (рис. 4.41).



Рис. 4.40. Вид на электронный блок управления (шину ISABUS), установленный на раме комплекса



Рис. 4.41. Вид на всходы кукурузы, посеянные сеялкой точного высева с электроприводом высевающих дисков посевных секций

4.4. ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ ВОЖДЕНИЕ

Основной парк машин для внесения твердых минеральных удобрений (более 90%) составляют центробежные дисковые разбрасыватели. Их широкое распространение обусловлено такими достоинствами, как возможность внесения различных видов удобрений, невысокая стоимость, высокая производительность, возможность обеспечения широкого диапазона доз внесения, простота конструкции, низкие затраты на техническое обслуживание. Вместе с тем, одной из важнейших особенностей центробежных дисковых разбрасывателей является то, что ширина разбрасывания намного превышает ширину машины. Это делает необходимым перекрытие смежных проходов на определенную величину (рис. 4.42), отклонение от которой увеличивает неравномерность внесения удобрений по полю. При этом наиболее сложной в плане наблюдения необходимых перекрытий является работа без технологической колеи.

По данным научных исследований неравномерность распределения различных доз минеральных удобрений по-разному влияет на потери урожая. Если дозы вносимых удобрений лежат в пределах ниже оптимальных, то недостаток удобрения, следовательно, и недобор урожая в одном месте компенсируется прибавкой урожая в другом, поэтому неравномерность их распределения проявляется только в пестроте почвенного плодородия. При внесении оптимальных доз потери урожая от неравномерности рассева удобрений увеличиваются в результате недобора на недостаточно удобренных участках, а также из-за полегания растений на участках, получивших избыточную дозу

питательных веществ. При этом зависимость урожая от количества питательных веществ в почве выражается кривой (рис. 4.43), которая имеет восходящую ветвь, растянутый максимум и нисходящую ветвь, характеризующую снижение урожайности при избыточных дозах удобрений. Таким образом, потери урожая из-за избытка удобрений значительно выше, чем при их недостатке. Кроме того, недостаток питательных элементов влияет на качество получаемой продукции.

Установлено, что даже опытный и добросовестный механизатор из-за отсутствия точного ориентира при работе с широкозахватными машинами не выдерживает стыковых проходов, совершая двойную обработку площади или оставляя огрехи на ширину 2...8 метра (рис. 4.44). При этом проблема обеспечения точного вождения агрегатов для внесения удобрений и пестицидов еще более обостряется с увеличением ширины захвата современной высокопроизводительной техники. Легко подсчитать, что при норме внесения удобрений 0,3 т/га и стоимости 1000 тыс. руб./т только на одном проценте площади, обработанной дважды, потери удобрений составят 3,0 тыс. руб./га. При этом мы не учитываем потери урожая, а перекрытия, по некоторым оценкам, могут достигать 15% и более.



Рис. 4.42. Соотношение между шириной захвата и шириной разбрасывания центробежными разбрасывателями

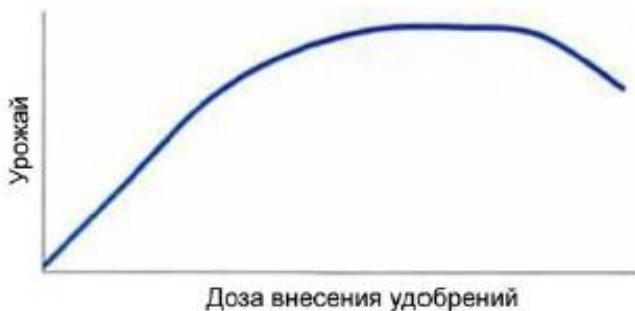


Рис. 4.43. Зависимость урожайности от дозы внесения удобрений

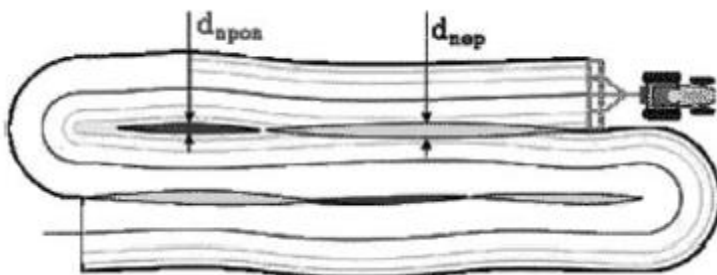


Рис. 4.44. Отклонение от параллельного движения агрегата

При работе опрыскивателя без технологической колеи (например, при внесении глифосатов) разливать «впустую» гербициды при перекрытии смежных проходов (читай, двойной обработке) бессмысленно, поскольку это влечет перерасход дорогостоящих химикатов, а при пропусках образуются необработанные участки.

Таким образом, при работе без технологической колеи отсутствие устройств точного вождения ведет к нарушению оптимального перекрытия смежных проходов и огрехам, что существенно повышает неравномерность распределения удобрений и пестицидов по полю.

Это приводит к отклонению фактически вносимых доз от заданных на участках с двойной обработкой, потерям удобрений и пестицидов при их внесении и семян при посеве, перерасходу топлива на всех видах работ, снижению эффективности их применения, урожайности и качества сельскохозяйственной продукции.

Известны механические устройства, пенные маркеры, агротехнические и организационные приемы, позволяющие повысить точность вождения агрегатов для внесения удобрений и химических средств защиты растений. Данные устройства устарели и не способны встраиваться в единую систему управления и принятия решений хозяйства.

В последние годы в мировой практике широко внедряются системы параллельного вождения с применением спутниковой навигации, которые хорошо зарекомендовали себя в некоторых хозяйствах Республики Беларусь. Системы параллельного вождения достаточно широко представлены на рынке такими компаниями, как «John Deere», «Trimble», «Müller-Elektronik», «TeeJet» и рядом других.

По данным специалистов ФГОУ ВПО «Самарская ГСХА», использование системы параллельного вождения со спутниковой навигацией в одном из хозяйств Самарской области обеспечило увеличение производительности труда на 13...20%, снижение затрат на удобрения, средства защиты растений и ГСМ до 20% на гектар, позволило устранить 11% перекрытий и 4% пропусков, что дало экономии денежных средств свыше 180 российских руб./га, срок окупаемости системы составил менее полугода.

При управлении техникой, оснащенной системами параллельного вождения с применением спутниковой навигации, механизатор чувствует себя комфортнее и меньше устает, имеет возможность вести машину, опираясь не на внешние ориентиры, а на показания приборов, что повышает качество и скорость работ. Более того, ранним утром при низком солнце или вечером в сумерках трудно рассмотреть маркеры или другие ориентиры, а указатель курса всегда перед глазами. С помощью систем параллельного вождения можно ездить и прямолинейно и криволинейно, главная идея состоит в том, чтобы свести к минимуму перекрытия и огрехи между соседними проходами.

В общем случае система параллельного вождения включает GPS-приемник с внешней антенной, контроллер и указатель курса. Более сложные системы состоят из механизмов автоматического управления трактором: сервоприводы, гидравлические системы.

При выборе системы параллельного вождения необходимо обратить внимание на точность работы, возможность приема корректирующих сигналов. Если работать с системой в автономном режиме, то точность параллельного вождения будет невысока и достигнет 1 метра и более. Чтобы ее повысить применяется дифференциальный сервис, одним из вариантов которого является европейская система EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Services – система широкозонной дифференциальной навигации). Сигнал передается по каналам геостационарных телекоммуникационных спутников и позволяет достигать 15...30-сантиметровой точности прокладки параллельных рядов. Этот сервис бесплатный, а его сигнал может принимать простой GPS-приемник.

Более точная дифференциальная поправка – платная услуга. Существует возможность использовать европейский Omnistar. В зависимости от типа подписки Omnistar предоставляет несколько уровней точности: VBS и HP/XP. VBS (виртуальная базовая станция) обеспечивает точность 15...20 см. Этого достаточно для проведения химзащитных работ или внесения удобрений. HP/XP гарантирует точность 5...10 см. Рекомендуется подписаться на этот сервис тем, кто применяет спутниковую навигацию для посева пропашных культур и последующей обработки рядков. Чтобы воспользоваться сервисом VBS и HP/XP, надо иметь GPS-приемник, поддерживающий такие услуги, или модернизировать GPS-приемник начального уровня, добавив к нему специальную антенну и программное обеспечение.

В GPS-системах фирмы «John Deere» используется эксклюзивный дифференцированный сервис, с которым не могут работать GPS-приемники других производителей. Существует две разновидности поправок: SF1 (бесплатный коррекционный сигнал, позволяющий обеспечить точность до 30 см) и SF2 (платный сигнал, аналогичный Omnistar HP/XP).

Самый высокий уровень точности, 1...3 см, достигается с помощью базовых станций (рис. 4.45), работающих в режиме RTK (Real-Time Kinematics – кинематика в реальном времени). Базовая станция позволяет

проводить все виды сельхозработ, в том числе точный высев, локальное внесение удобрений и точную культивацию пропашных культур. С помощью этой системы можно из года в год соблюдать одну и ту же технологическую колею или попадать в одни и те же рядки, чтобы сеять «след в след» несколько лет.

Таким образом, можно сделать вывод, что применение систем параллельного вождения не только целесообразно, но и необходимо. При этом, отдавая предпочтение той или иной модели системы, необходимо исходить из ставящихся целей, ведь дополнительные возможности прибора (опции) автоматически влекут изменение стоимости в сторону ее увеличения. К примеру, если предполагается применение системы параллельного вождения при внесении удобрений и пестицидов, достаточно приобрести прибор, обеспечивающий точность 15...30 см. И, наоборот, при эксплуатации системы параллельного вождения с автопилотом, допустим, при посеве, необходимо ориентироваться на прибор, имеющий возможность подключения к системе автопилотирования, а также использования платного дифференцированного сервиса и работу в режиме RTK.



Рис. 4.45. Базовая станция корректировки сигнала

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Агропромышленный комплекс – крупнейший сектор народного хозяйства России. Здесь производится около трети валового общественного продукта, сосредоточено четверть базовых фондов, 30% численности работников, занятых в материальной сфере, производится более 70% потребительских товаров для населения. В ходе аграрной реформы созданы основы многоукладной экономики, законодательно закреплено право выбора форм хозяйствования, предприятия всех организационно-правовых форм могут самостоятельно определять направление, структуру и объемы производства.

Современное сельскохозяйственное производство невозможно без высокого уровня механизации технологических процессов. При этом повышение эффективности земледелия, в первую очередь, основано на применении индустриальных технологий, базирующихся на энергосберегающих методах производства. Энергоемкость технологических сельскохозяйственных операций в значительной степени определяется эксплуатационными свойствами машин и режимами работы машинно-тракторных агрегатов (МТА).

Настоящее учебное пособие позволяет качественно подготовить специалиста агроинженерного направления к эффективному решению многих задач, связанных с применением энергонасыщенных тракторов, и создает предпосылки для быстрой профессиональной адаптации к изменяющимся условиям современного производства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Выбор** типа и параметров современной тракторной трансмиссии / П. А. Амельченко и др. // Тракторы и сельхозмашины. – 2013. – № 8.
2. **Электромеханические трансмиссии** гусеничных тракторов. Теория и расчет / П. П. Исаков и др. – Л. : Машиностроение, 1981. – 302 с.
3. **Шельцын, Н. А.** Современные бесступенчатые трансмиссии с.-х. тракторов / Н. А. Шельцын, Л. А. Фрумкин, И. В. Иванов // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – № 11.
4. **Зангиев, А. А.** Производственная эксплуатация машинно-тракторного парка / А. А. Зангиев, Г. Л. Лышко, А. Н. Скороходов. – М. : Колос, 1996.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 3 |
| 1. ТРАКТОРЫ. УСТРОЙСТВО | 4 |
| 1.1. Типаж и классификация тракторов | 4 |
| 1.2. Общее устройство трактора | 12 |
| 1.3. Требования, предъявляемые к тракторам | 13 |
| 2. СИЛОВЫЕ ПЕРЕДАЧИ ТРАКТОРОВ | 16 |
| 2.1. Механические трансмиссии | 18 |
| 2.2. Гидромеханические передачи | 23 |
| 2.3. Примеры силовых передач | 36 |
| 2.3.1. Коробка передач трактора Кировец | 36 |
| 2.3.2. Электронное устройство управления КП | 37 |
| 2.3.3. Бортовые фрикционы и остановочные тормоза | 42 |
| 3. АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ТЯГОВЫХ И ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН | 49 |
| 3.1. Современные силовые установки и тяговые мотор-генераторы | 50 |
| 3.2. Тяговые двигатели | 54 |
| 3.3. Управление тяговыми двигателями | 62 |
| 4. ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ СЕЛЬХОЗМАШИН И ЭЛЕКТРОТЕХНИ- ЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ | 64 |
| 4.1. Картирование полей | 64 |
| 4.2. Внесение минеральных удобрений и средств защиты растений | 72 |
| 4.3. Посев | 78 |
| 4.4. Параллельное вождение | 89 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 94 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ | 95 |

Учебное электронное издание

ЗАВРАЖНОВ Анатолий Иванович
ВЕДИЩЕВ Сергей Михайлович
ГЛАЗКОВ Юрий Евгеньевич
ПРОХОРОВ Алексей Владимирович
ХОЛЬШЕВ Николай Васильевич
РОГОЖКИН Артём Сергеевич

УСТРОЙСТВО, ЭКСПЛУАТАЦИЯ, ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ ЭНЕРГОНАСЫЩЕННЫХ ТРАКТОРОВ

Учебное пособие

Редактирование Е. С. Мордасовой
Графический и мультимедийный дизайнер Н. И. Кужильная
Обложка, упаковка, тиражирование Е. С. Мордасовой

ISBN 978-5-8265-2637-8



Подписано к использованию 18.09.2023.
Тираж 50 шт. Заказ № 103

Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14
Тел./факс (4752) 63-81-08.
E-mail: izdatelstvo@tstu.ru