

Рис. 2. Зависимость изменения бокового зазора Δj_n и межосевого угла Σ от вертикальной нагрузки на колесо G_k

вызывает увеличение межосевого угла в верхней конической передаче соответственно с 97° до $97^\circ 17'$.

Проведенный анализ показывает, что жесткость корпуса верхней конической пары переднего ведущего моста недостаточна для надежного обеспечения требуемого бокового зазора в верхней паре и ее работоспособности. Повышения жесткости можно достичь за счет изменения конфигурации сечения Б—Б и увеличения его площади, а также применения ребер жесткости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барский И.Б., Анилович В.Я., Кутьков Г.М. Динамика трактора. — М., 1973.
2. Анилович В.Я., Водолаженко Ю.Т. Конструирование и расчет сельскохозяйственных тракторов. — М., 1976.
3. Л е ф а р о в А.Х. Зазоры в зацеплении цилиндрических шестерен // Автомоб. и тракт. пром-сть. — 1954. — № 6. — С. 10—14.

УДК 629.114.2-592

Г.П.ГРИБКО, В.Ю.СИДОРЕНКО,
В.З.ФУРСОВ

ОЦЕНКА СХЕМНОЙ НАДЕЖНОСТИ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ТОРМОЗНОГО ПРИВОДА БОЛЬШЕГРУЗНОГО ТРАКТОРНОГО ПОЕЗДА

Для тормозной системы тракторного поезда недостаточно обладать определенной физической надежностью каждого ее элемента, поскольку ее работоспособность в значительной степени определяется схемой соединения этих элементов в системе. При расчете схемной надежности пневматического тормозного привода тракторного поезда в составе трактора "Кировец", полунавесного прицепа ЗПТС-14.5П и прицепа ЗПТС-13 на первом этапе определяется надежность привода тормозов трактора и прицепа как отдельных систем. Для расчета использовался метод структурных схем [1]. При этом предполагается, что система и ее элементы могут находиться только в работоспособном или в неработоспособном состоянии; отказы элементов независимы; все элементы системы являются одноотказными (т.е. в элементах невозможны разные отказы одновременно).

В общем случае структурная схема расчета безотказности исследуемой системы представляет собой условное изображение последовательных и параллельных соединений элементов, выражающих события безотказности их действия. Правильность составления структурной схемы проверяется принципом прохождения сигналов, который заключается в том, что сигналы в структурной схеме проходят только по исправным элементам (отказавший элемент не пропускает сигнал). Так, при последовательном соединении элементов сигнал с входа на выход системы не проходит, если откажет хотя бы один элемент. При параллельном соединении для прохождения сигнала достаточно иметь хотя бы одну исправную ветвь.

Количественно схемная надежность оценивается по критерию вероятности безотказной работы [2]. При последовательном соединении элементов вероятность безотказной работы равна произведению вероятности появления всех событий:

$$R = \prod_{i=1}^n R_i,$$

где R_i – вероятность безотказной работы i -го элемента.

Если структурная схема состоит из K параллельных цепей, в каждой из которых n элементов, вероятность безотказной работы системы определяется по зависимости

$$R = 1 - \prod_{j=1}^K \left(1 - \prod_{i=1}^n R_i \right).$$

Практика эксплуатации автомобильных и тракторных транспортных средств показывает, что наиболее уязвимыми элементами пневматических приводов являются исполнительные аппараты и участки магистралей перед ними, находящиеся в непосредственной близости от дороги. Выпускаемые серийно тракторы К-701 оборудованы одноконтурным пневмоприводом тормозов. Для перспективных тракторов К-701М разработан двухконтурный привод [3]. Поэтому для сравнительной оценки схемной надежности пневмопривод тормозов трактора будем рассматривать состоящим из подсистем 1 и 2 привода тормозов соответственно передних и задних колес. Примем условно вероятность безотказной работы для обеих подсистем $R_1 = R_2 = 0,9$ и рассмотрим основные схемы привода.

Одноконтурный пневматический тормозной привод (рис. 1, а) состоит из подсистем 1 и 2, включенных последовательно с $R_T = R_1 R_2 = 0,81$. Применение двухконтурной схемы привода (рис. 1, б) дает существенное повышение надежности, поскольку подсистемы включены параллельно, так, что $R_T = 1 - (1 - R_1)(1 - R_2) = 0,99$. Очевидный недостаток этой схемы состоит в том, что отказ одной из подсистем снижает эффективность торможения, причем в большей степени эффективность снижается при отказе подсистемы 1. Для повышения схемной надежности привода можно применить резервирование путем введения дополнительной подсистемы 1, включенной параллельно всей системе (рис. 1, в). В качестве такой подсистемы можно рассматривать пружинные энергоаккумуляторы, объединенные с тормозными камерами передней оси [4]. Надежность в этом случае определяется вероят-

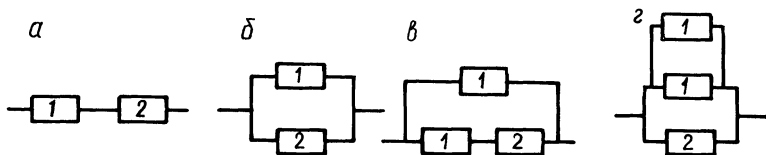


Рис. 1. Структурные схемы пневмопривода тормозов трактора

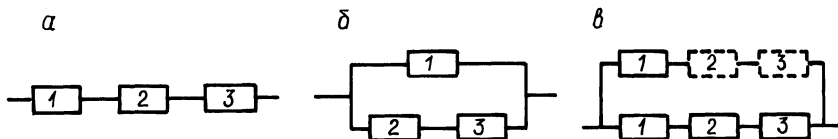


Рис. 2. Структурные схемы пневмопривода тормозов прицепа

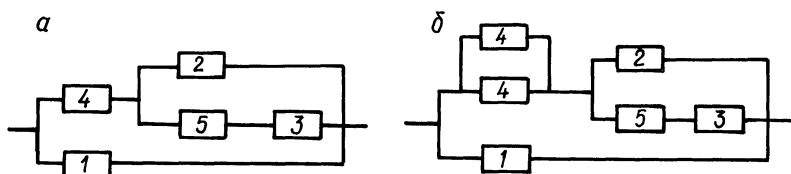


Рис. 3. Структурные схемы пневмопривода тормозов тракторного поезда

ностью безотказной работы $R_T = 1 - (1 - R_1)(1 - R_1 R_2) = 0,981$. Такая схема менее надежна по сравнению со схемой двухконтурного привода, что объясняется большим количеством подсистем. Однако данной схемой обеспечивается большая эффективность торможения, поскольку при отказе любой из основных подсистем сохраняется эффективность торможения, обеспечиваемая подсистемой 1. Разработана также схема двухконтурного пневмопривода тормозов с резервированием подсистемы 1 (рис. 1, з). Резервирование обеспечивается автоматическим срабатыванием пружинных энергоаккумуляторов при отказе переднего контура (подсистемы 1) [5]. Для данной схемы $R_T = 1 - (1 - R_1)^2(1 - R_2) = 0,999$. Последняя схема обладает наивысшей надежностью. По эффективности торможения эта схема также имеет преимущества перед другими, так как в случае отказа основной подсистемы 1 эффективность торможения не снижается, а при отказе подсистемы 2 остается на уровне, обеспечиваемом работой подсистемы 1.

Полунавесной прицеп и прицеп имеют унифицированный пневматический привод к тормозам трех осей. Поэтому ниже для краткости фигурирует понятие "пневмопривод тормозов прицепа". Прицепы, выпускаемые серийно, оборудованы одноконтурным приводом, который на структурной схеме можно представить в виде трех (по числу осей) последовательно соединенных подсистем (рис. 2, а). Вероятность безотказной работы для данного привода $R_n = R_1 R_2 R_3 = 0,729$. Для двухконтурной схемы привода (рис. 2, б) $R_n = 1 - (1 - R_1)(1 - R_2 R_3) = 0,981$. Из приведенных результатов видно, что надежность двухконтурного пневмопривода в 1,34 раза выше одноконтурного. Этой схеме привода присущ тот же недостаток, что и двухконтурной схеме пневмо-

привода тормозов трактора — снижение эффективности торможения примерно вдвое при отказе одной из подсистем.

Примение в пневмоприводе тормозов прицепа тормозных камер, совмещенных с пружинными энергоаккумуляторами, позволяет, используя разработанную схему [6], осуществить резервирование привода параллельным подключением дополнительных подсистем 1, 2 и 3 (рис. 2, в). При подключении дополнительной подсистемы 1 вероятность безотказной работы $R_n = 1 - (1 - R_1)(1 - R_1 R_2 R_3) = 0,973$, при подключении подсистем 1 и 2 соответственно $R_n = 1 - (1 - R_1 R_2)(1 - R_1 R_2 R_3) = 0,948$ и при дублировании всех подсистем $R_n = 1 - (1 - R_1 R_2 R_3)^2 = 0,926$. Отсюда следует, что с ростом числа дополнительных подсистем вероятность безотказной работы снижается. Однако при этом повышается эффективность аварийного торможения при работе резервных подсистем. Очевидно, что средние показатели по надежности и эффективности торможения будут при введении двух дополнительных подсистем 1 и 2 или 1 и 3.

Используя полученные выше результаты для пневмопривода тормозов трактора и прицепов, можно рассчитать схемную надежность пневмопривода тормозов трехзвенного тракторного поезда. Тормозные приводы трактора и прицепов на структурной схеме можно представить как подсистемы 1, 2 и 3, совместная работа которых обеспечивается подсистемами 4 и 5 (рис. 3). Последние подсистемы в реальной конструкции пневмопривода тормозов тракторного поезда представляют собой магистрали управления, соединяющие звенья поезда. Определим вероятность безотказной работы пневмопривода тормозов тракторного поезда при наименьшей и наибольшей надежности приводов трактора и прицепов, приняв $R_4 = R_5 = 0,95$. Для схемы, приведенной на рис. 3, а, будем иметь $R_{Т.п} = 1 - (1 - R_1) \{ 1 - R_4 [1 - (1 - R_2) (1 - R_3 R_5)] \}$. Подставив в полученную формулу численные значения, получим $R_{Т.п \min} = 0,975$ и $R_{Т.п \max} = 0,99995$. Можно также определить возможное число отказов пневмопривода тормозов на 1000 тракторных поездов $F = (1 - R) \cdot 10^3$. В лучшем случае имеем 0,05, а в худшем 25 отказов. Необходимо отметить, что худший результат получен при использовании на всех звеньях тракторного поезда одноконтурного привода без резервирования подсистем. Следовательно, такой привод не может удовлетворять существующим требованиям, так как число отказов может оказаться сопоставимым с обусловленными ими дорожно-транспортными происшествиями [2]. Если использовать схемы привода (см. рис. 2, в) на тракторе, а также на прицепах с двумя дополнительными подсистемами, получим $R_{Т.п} = 0,998$, что соответствует числу возможных отказов на 1000 тракторных поездов $F = 2$. На примере схемы (см. рис. 3, б) рассмотрим влияние резервирования подсистемы 4, которое можно осуществить за счет использования в качестве резервной питающей магистрали [7]. Вероятность безотказной работы данной схемы привода $R_{Т.п} = 1 - (1 - R_1) \{ 1 - [1 - (1 - R_4)^2] [1 - (1 - R_2) (1 - R_3 R_5)] \}$ = 0,9995, а возможное число отказов пневмопривода на 1000 тракторных поездов $F = 0,5$.

Сравнение надежности рассмотренных выше схем пневмопривода тормозов тракторного поезда показывает, что резервирование подсистем позволяет,

не повышая их надежности, существенно повышать вероятность безотказной работы всего привода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сырицын Т.А. Надежность гидро- и пневмопривода. — М., 1981.
2. Ротенберг Р.В. Основы надежности системы водитель—автомобиль—дорога—среда. — М. 1986.
3. Сидоренко В.Ю., Грибко Г.П., Герасимович Е.Н., Алексеев В.В. Тормозная система для перспективных моделей трактора "Кировец" // Совершенствование тракт. конструкций и узлов: Тез. докл. всесоюз. науч.-техн. конф. — М. 1987. — С. 151—152.
4. А.с. 1261817 (СССР). Пневматический тормозной привод тягача.
5. А.с. 1150128 (СССР). Пневматический привод тормозов тягача.
6. А.с. 1369956 (СССР). Тормозная система прицепного транспортного средства.
7. А.с. 903236 (СССР). Двухпроводный пневматический привод тормозов автопоезда.

УДК 631.33.001

П.В.ЗЕЛЕНЬКИЙ, О.А.ЯКУБОВИЧ

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ СТАБИЛИЗИРУЕМОЙ ХОДОВОЙ ЧАСТИ НА УНИВЕРСАЛЬНО-ПРОПАШНЫХ ТРАКТОРАХ ПОВЫШЕННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

Конструкции тракторов повышенной устойчивости, предназначенных для механизации сельскохозяйственных технологических процессов в сложных рельефных условиях, совершенствуются преимущественно по двум направлениям. Так, по одному из них, не связанному с существенным изменением конструкции базовой модифицируемой модели, повышается устойчивость трактора путем уширения колеи и понижения центра масс. По другому — трактор оборудуют системой стабилизации остова и ходовой части в вертикальном положении. Помимо простоты конструктивного исполнения, достоинством первого направления является сохранение возможности агрегатирования модификации трактора повышенной устойчивости с комплексом сельскохозяйственных машин и орудий, что и базовой модели этого трактора [1]. Навесная система трактора при этом не требует конструктивной доработки, поскольку остов трактора сохраняет положение, параллельное поверхности склона, т.е. такое, в каком необходимо удерживать навешиваемую машину или орудие. Недостатком первого направления модификации трактора является ухудшение агротехнической вписываемости его в междурядья пропашных культур из-за применения широкопрофильных шин меньшего, чем у базовой модели, диаметра. Кроме того, шины колес, расположенных по склону ниже, перегружаются перераспределившимся при крене весом трактора и подвержены значительному боковому уводу, усугубляемому значительным боковым сдвигом грунта.

Второе направление модификации, хотя и основано на существенном изменении конструкции базовой модели трактора, лишено упомянутых недостатков. Трактор со стабилизируемыми в вертикальном положении остовом и ходовой частью имеет повышенную устойчивость против опрокидывания, колеса его ходовой части хорошо вписываются в междурядья пропашных