

УДК 631.3

## ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛЕСНЫХ МАШИН С ТАНДЕМНЫМ МОСТОМ

**А.И. Бобровник**, доктор технических наук

**А.С. Волуевич**, студент

**П.А. Попченко**, студент

**А.Н. Швец**, студент

Белорусский национальный технический университет

г. Минск, Беларусь

### Аннотация

В статье рассматривается принцип работы тандемного моста машин лесопромышленного комплекса, который предназначен для повышения технического уровня в приводах лесных машин, а так же особенности установки и эксплуатации моста.

**Ключевые слова:** движение, дифференциал, конструктивные параметры, лесные машины, моменты, нагрузка, планетарная передача, перераспределение нагрузок, проходимость, реактивная сила, редуктор, тандемный мост, технический уровень, тяговое усилие.

### Abstract

**A.I. Bobrovnik, A.S. Voluevich, P.A. Popchenko, A.N. Shvets**

### EXPLOITATION OF FOREST MACHINES WITH A TANDEM BRIDGE

The article shows both principle of operation of a tandem bridge of a forestry complex designed to improve drives capacity of forest machines, and features of installing and operating a bridge.

**Keywords:** motion, differential, construction parameters, forest machines, moments, load, planetary transmission, load redistribution, passability, reactive force, reducer, tandem bridge, technical level, traction effort

### Введение

Машины лесопромышленного комплекса АМКОДОР 2631, 2661-01, 2662, 2682-01, выпускаемые открытым акционерным обществом «АМКОДОР – управляющая компания холдинга», по своим техническим характеристикам и качеству соответствует мировым стандартам. На предприятиях холдинга идет непрерывный процесс реконструкции и технического перевооружения, что позволяет существенно приблизить номенклатуру машин к потребностям конкретного заказчика для работы в сложных лесных условиях, в том числе на мелиорированных почвах. Для повышения технического уровня в приводах лесных машин применяют тандемный мост «АМКОДОР» форвардер ТАП 7501. 80 фирмы NAF. Однако установка такого моста на лесных машинах имеет свои особенности. Анализ работы тандемного моста машин лесопромышленного комплекса посвящена настоящая статья.

### Анализ источников

Для механизации лесосечных работ применяют как гусеничные, так и колесные тракторы. Колесные тракторы для лесной промышленности произво-

дят на базе сельскохозяйственных тракторов, в конструкцию которых вносят изменения, направленные на обеспечение надежности их работы, повышение проходимости, маневренности и агрегатирования с различным технологическим оборудованием [1, с. 460]. Для повышения проходимости мобильных машин Fendt разработал VarioGripPro – систему регулировки давления в шинах для модели Fendt 900 Vario с типоразмером шин 710/75R42. Система позволяет увеличивать давление в шинах на 1 бар всего за 30 секунд во время переключения между режимом работы «в поле» и режимом движения «по дороге». Многие операторы не учитывают что давление в шинах не единственный параметр, влияющий на тяговое усилие, которое также зависит от веса и скорости движения трактора. Зачастую операторы используют только системы управления давлением в шинах. Fendt разработал электронного помощника Fendt Grip Assistant, который предлагает оператору оптимальную скорость и надлежащее давление в шинах для веса. Оператор просто выбирает тип привязанности, тип навесного устройства и характер почвы на терминале Vario. Система управления изменит давление

в шинах автоматически. Для снижения уровня уплотнения почвогрунтов путем коррекции положения мобильной машины с учетом рельефа относительно опорной поверхности фирмой John Deere разработан приемник Star Fire 3000, который может работать со всеми уровнями сигнала и системами навигации. Система измеряет угол наклона машины по ее трем осям.

При выборе шин для мобильных лесных машин во избежание их весовой перегрузки необходимо руководствоваться индексами грузоподъемности и скорости.

При движении колесных лесных машин по агрофонам происходит перераспределение нагрузок между осями, которое зависит от параметров транспортного средства, а также от условий и характера его движения. Указанное перераспределение происходит как в продольной плоскости между осями мобильной машины, так и в поперечной плоскости между колесами [2, с. 69]. Конструктивные параметры машины также оказывают влияние на перераспределение нагрузок между колесами. Чем короче продольная база машины и чем выше у нее расположен центр тяжести, тем резче происходит перераспределение при равных внешних условиях [3, с. 76]. Внешние силы и моменты, действующие на многоосный автомобиль с несколькими ведущими осями, определены в работе [4, с. 42]. Если два задних колеса объединены в балансирную тележку, подвешенную к раме, то заменяя реакции колес тележки на одну суммарную силу, могут быть найдены реакции на колеса. Если же задние колеса трехосного автомобиля подвешены независимо одно от другого, то задача решается, как для многоосной машины.

Впервые для большегрузного карьерного самосвала, оснащенного самыми последними техниче-

скими достижениями автотракторостроения, разработан алгоритм системы загрузки кузова с учетом реактивного момента, действующего на ведущий мост автомобиля [5, с. 65]. В этой конструкции вес подрессоренной массы автомобиля воспринимается гидропневматическими цилиндрами и жесткими центральными шарнирами направляющего аппарата. При движении автомобиля с короткой базой, выполненной для уменьшения радиуса поворота, вследствие действия реактивных моментов весовая нагрузка существенно образом перераспределяется между указанными элементами, а следовательно, и между осями транспортного средства. Так в тяговом режиме нагрузка на цилиндры задней подвески снижается, соответственно увеличиваясь на центральный шарнир. Силовое действие реактивного момента передается на подрессоренную массу и приводит к перераспределению нагрузок на подвески самосвала. В реактивном контуре заднего моста формируются усилия, образующие пару сил и действующие в центральном шарнире. Эксплуатационные испытания показали, что при движении на подъем большой крутизны 7-12 % и при интенсивных разгонах самосвала доля реактивной силы может достигать больших значений, до 10-25 % веса груза [5, с. 70]. Поэтому реактивный момент необходимо учитывать при проектировании мобильных машин. Перераспределение нагрузок по осям зависит от положения опорной поверхности в продольной и поперечной плоскостях. При уклоне 18 % в поперечной и продольной плоскостях вес карьерного самосвала с гидропневматической подвеской увеличивается на 3,2 %, а с учетом углового положения подрессоренной массы – на 5,4 % [5, с. 66].

Рассмотрим особенности конструкции тандемного моста «АМКОДОР» форвардер ТАП 7501. 80 фирмы NAF (рисунок 1). Серийное производство мос-

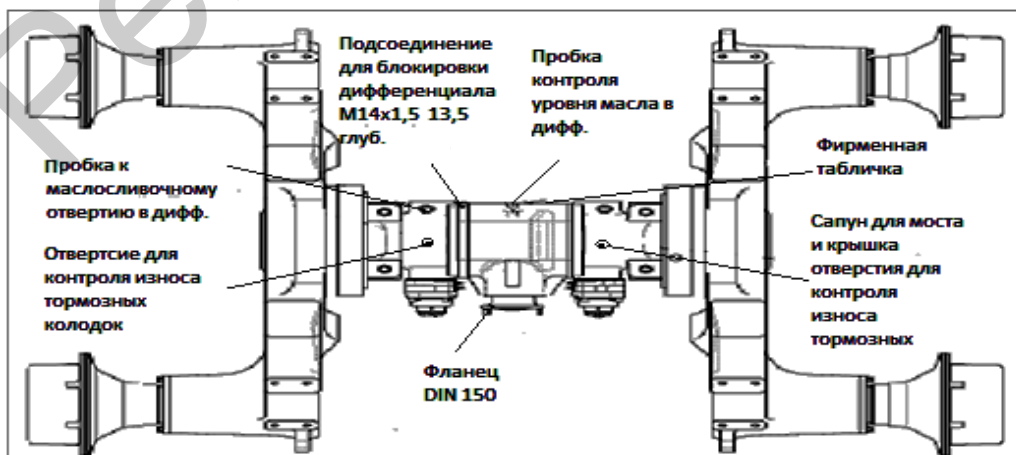


Рисунок 1.– Тандемный мост

тов начато в феврале 2007. В этой модели имеется гидравлическая зубчатая блокировка дифференциала «No Spin». Неуправляемый мост предназначен для прямого монтирования к выступам рамы мобильных лесных машин. Основная тяга осуществляется через фланец DINØ150. Тандемный балансир находится в несущей балке моста. В качестве рабочего и стояночного тормоза на несущей балке моста на подсоединении к дифференциалу установлены четыре гидравлических дисковых тормоза с тормозным энергоаккумуляторным цилиндром. Дифференциал передает крутящий момент зубчатым колесам, расположенным в тандемных рукавах, которые с внутренней стороны крепятся с помощью поворотного круга. Тандемные рукава приводят через цилиндрические зубчатые колеса четыре планетарных механизма ведущих колес, расположенные снаружи мобильной машины.

Мосты компании NAF разработаны с учетом многолетнего опыта и знаний о потребностях рабочих машин. Бесперебойное функционирование мостов требует постоянного контроля и технического обслуживания. Речь идет о соблюдении периодичности технического обслуживания, использовании необходимых смазочных материалов в соответствии с заводской таблицей по смазочным материалам (рисунок 2). Дифференциал и несущая балка моста, а также ступица планетарной передачи и тандемные рукава имеют общий отсек для масла. Несмотря на это, масло должно заливаться в отверстия, предусмотренные для каждого узла, иначе из-за относительно тесных соединительных каналов возможно недостаточно точное определение количества масла.

Нагрузка, приходящаяся на один мост, – 20 тонн, а на одно колесо – 5 тонн. Максимальная касательная сила тяги, развиваемая колесом по сцеплению, рассчитывается по формуле

$$P_{\psi} = \psi G_{cy} = 0,8 \cdot 5,0 = 4,0 \text{ т} \quad (1)$$

Момент, развиваемый колесом по сцеплению при радиусе колеса 1,0 м, равен

$$M_{\psi} = P_{\psi} r_k = 4,0 \cdot 1,0 = 4,0 \text{ тм} \quad (2)$$

Определим моменты в планетарной передаче. В эпициклическом планетарном ряду моменты  $M_c$  на солнечной шестерне, на водиле  $M_e$  и на эпицикле  $M_s$  связаны соотношениями:

$$\begin{aligned} M_e &= (1+k)M_c, \\ M_s &= kM_c, \\ M_e &= (1+k)M_s / k, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $k$  – характеристика планетарного ряда ( $1,5 < k < 4,0$ ) [6, стр.144]. Совпадающие по направлению моменты на солнечной шестерне и на эпицикле направлены против момента водила. Таким образом, весь трехзвенный дифференциальный механизм уравновешен.

Момент на эпициклической шестерне, воспринимающей реактивный момент, выразим через момент на водиле, который определяется из условия

$$M_s = M_e k / (1+k). \quad (4)$$

Принимаем ориентировочно  $k=4,66$ , тогда  $M_s=4000 \cdot 4,66 / (1+4,66) \approx 3,29$  тм. На двух планетарных механизмах одного борта машины сумма моментов составит  $\approx 6,58$  тм., на четырех колесах всего

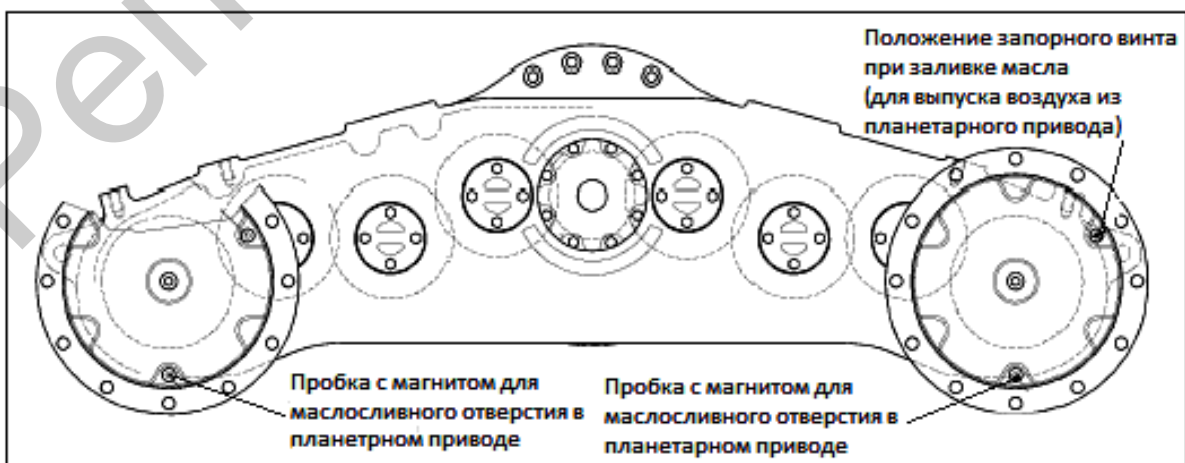
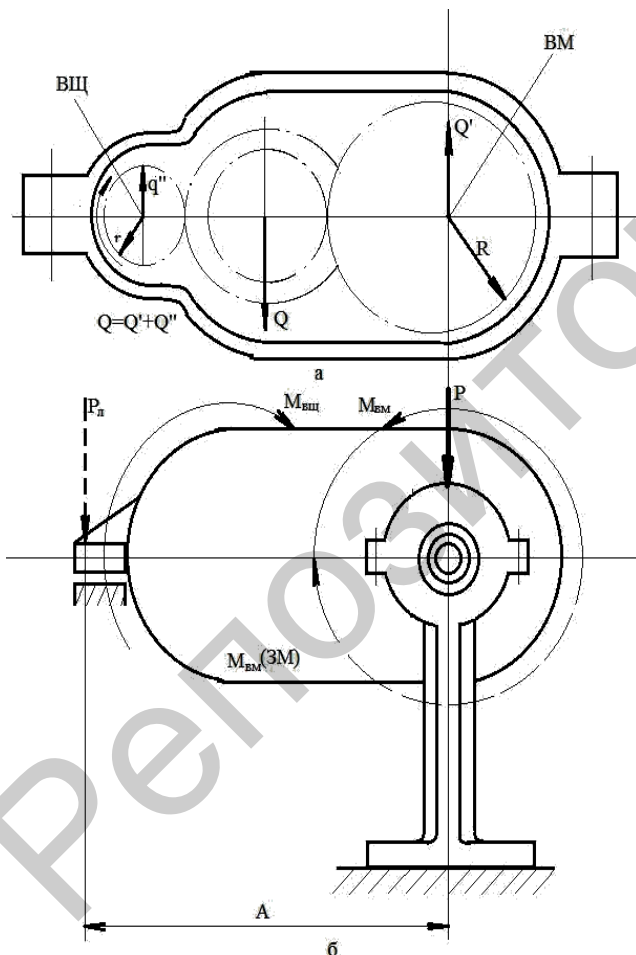


Рисунок 2.– Положение тандемного моста при техническом обслуживании

моста  $\approx 13,16$  тм. При расстоянии между колесами 1,5 м неравномерность догрузки колес за счет реактивного моста составит:  $6,58:1,5 \approx 4,4$  т., то есть изменение сил в динамике на колесо будет варьировать от 6,1 до 3,9 т. При расчете не учитывался ведущий момент, приложенный на входе редуктора. Известно, что прочностной расчет картера ведется на максимальные усилия, возникающие в полюсах зацепления шестерен, а также от дополнительных усилий от тепловых деформаций деталей. Крепление картера рассчитывается по внешним моментам, нагружающим редуктор в целом, а также по инерционным усилиям. Методика расчета опор коробки передач изложена в работе [7, с. 168] (рисунок 3).

$$M_{вм} + M_{вщ} = P_{л} \cdot A; \quad P_{л} = M_{дт} u_n \eta_n / A \left( [u_{з.х.}] \eta_{з.х.} + 1 \right)$$

$$M_{вм} - M_{вщ} = P_{б} \cdot A; \quad P_{б} = M_{дт} u_n \eta_n / A (u_{к1} \eta_{к1} - 1)$$



**а** – внутренних сил, растягивающих болты картера;

**б** – внешних сил и моментов, действующих на картер КП

Рисунок 3. – Расчетная схема

Внешние моменты на валах при переднем ходе направлены противоположно, большой момент ведомого вала стремится повернуть картер против хода часовой стрелки, растягивая болты силой.

Определяем направление внешних моментов и их суммируем. Общее передаточное число редуктора – 7,5. Максимальный ведущий момент на входе тандемного рукава от одного колеса – 530, а для одного борта – 1060, для моста – 2120 кгм. Учитывая установку трех паразитных шестерен между ведущим валом и планетарным редуктором, направление одного ведущего момента и двух на корпусе редуктора, имеем максимальный момент, равный 7,58, а для всего моста – 15,16 тм. Для одного колеса максимальное значение реактивной силы составит 2,5 т. Изменение вертикальной силы на ведущее колесо за счет реактивного момента от максимальной силы по сцеплению колеса составит от 5 до 7,5 т., то есть 33 %.

Для уравнивания моста путем уменьшения влияния реактивной силы на тандемный рукав следует оптимизировать схему привода сочетанием цилиндрических и планетарных передач: один планетарный редуктор тандемного рукава разместить на месте первой паразитной шестерни в тандемном рукаве, а на его месте установить цилиндрический редуктор. Реактивный момент эпицикла и конечной передачи привода колеса одного тандемного рукава будут направлены в разные стороны. Разность крутящих моментов составит  $4,00 - 3,26 = 0,74$  тм. Результирующий момент на тандемный рукав составит  $1,06 - 0,74 = 0,32$  тм. На одно колесо будет действовать реактивная сила 54 кг.

### Заключение

Машины лесопромышленного комплекса АМКОДОР 2631, 2661-01, 2662, 2682-01 по своим техническим характеристикам и качеству соответствуют мировым стандартам, благодаря непрерывному процессу реконструкции и технического перевооружения. Для повышения технического уровня в приводах лесных машин применяют тандемный мост «АМКОДОР» форвардер ТАП 7501. 80 фирмы NAF. Однако установка такого моста на лесных машинах имеет свои особенности. При движении колесных лесных машин происходит перераспределение нагрузок между осями ходовой системы из-за действия реактивного момента, доля которого для мобильных

машин составляет до 10-25 % от полезной нагрузки. С учетом реактивного момента для tandemного моста «АМКОДОР» форвардер ТАП 7501. 80 фирмы NAF лесной машины определено перераспределение вертикальной нагрузки по осям моста, составляющее при изменении ведущего момента от 5 до

7,5 т (т.е. 33%). Чтобы уравновесить мост и уменьшить влияние реактивной силы на tandemный рукав, необходимо разместить один планетарный редуктор tandemного рукава на месте первой паразитной шестерни, а на месте планетарного редуктора установить цилиндрический.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тракторы. Проектирование, конструирование и расчет / Под ред. И. П. Ксеневи́ча. – М. : Машиностроение, 1991. – 543 с.
2. Зимелев, Т. В. Теория автомобиля / Т. В. Зимлев. – М. : Машиностроение, 1957. – 155 с.
3. Гуськов, В. В. Тракторы / В. В. Гуськов. – Минск : Вышэйшая школа, 1977. – Ч.3. – 382 с.
4. Армейские автомобили. Теория / А. С. Антонов [и др.]. – Ленинград, 1967. – 502 с.
5. Бусел, Б. У. Механико - математические основы алгоритма работы системы контроля загрузки карьерного самосвала // Б. У. Бусел, М. М. Заболоцкий / Современные проблемы проектирования автомобилей : материалы Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 75-летию кафедры «Автомобили». – Минск : БНТУ, 2015 – 123 с.
6. Шарипов, В. М. Конструирование и расчет тракторов / В. М. Шарипов. – М. : Машиностроение, 2004. – 590 с.
7. Бронетанковая техника. Конструкция и расчет танков и БМП : учебник / В. А. Чобиток [и др.]. – М. : Военное издательство, 1984. – 376 с.

Поступила 2.03.2017