

# **Некоторые кинематические схемы механических трансмиссий современных лесозаготовительных машин**

## **Kinematic schemes of mechanical transmissions of modern logging machines**

### **Пискунов М.А.**

Канд. техн. наук, доцент кафедры транспортных и технологических машин и оборудования Института лесных, горных и строительных наук Петрозаводского государственного университета  
e-mail: piskunov\_mp@list.ru

### **Piskunov M.A.**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of transport and production machines and equipment, Institute of forestry, mining and construction sciences, Petrozavodsk State University  
e-mail: piskunov\_mp@list.ru

### **Аннотация**

Представлены отдельные компоновочные решения для агрегатов механических трансмиссии колёсных форвардеров, харвестеров и гусеничных валочно-пакетирующих машин, выпускаемых в текущий период серийно. Рассмотрены типовые компоновки раздаточных коробок и мостов. В схемах представлены числа зубьев колёс зубчатых передач, используемых в агрегатах.

**Ключевые слова:** лесозаготовительная машина, механическая трансмиссия, кинематическая схема, агрегат.

### **Abstract**

Separate layout solutions are presented for mechanical transmission units of wheel forwarders, harvesters and tracked feller bunchers, which are mass-produced in the current period. Typical layouts of transfer boxes and axles are considered. The kinematic diagrams show the number of teeth of gearwheels used in the units.

**Keywords:** logging machine, mechanical transmission, kinematic scheme, gear.

Систематизация теоретических обоснований различных конструкций, находящихся свое воплощение только в научных работах и не дошедших до практического применения в виде серийных образцов, не позволяет исследователям и конструкторам владеть абсолютно полной картиной, которая складывается в некоторый период в инженерии машин и оборудования. Несмотря на то, что не всегда изучение конструкций машин, запущенных в серийное производство и нашедших широкое практическое применение в реальных условиях, рассматривается как задача, имеющая научное значение, исследования, связанные с описанием таких конструкций, выполнять также необходимо.

В текущей ситуации организации лесозаготовительного производства сформировались некоторые тенденции, которые показывают, что находят использование на основных операциях машины и оборудование определённых компоновок. Причем эти компоновки получили распространение вне зависимости от производителя.

Для сортиментной технологии используются колёсные лесозаготовительные машины, оборудованные гидромеханической трансмиссией. Для хлыстовой технологии лесозаготовок находят применение как колёсные, так и гусеничные машины. Гусеничные машины, предназначенные для валки деревьев, также оборудованы гидромеханической трансмиссией, но обладают компоновкой близкой к компоновочным решениям, которые применяются в дорожно-строительной технике, в частности, в гусеничных экскаваторах.

Гидромеханическая трансмиссия машин для сортиментной технологии – харвестеров и форвардеров – в большинстве случаев состоит из гидронасоса и гидромотора хода, раздаточной коробки, главных передач на мостах, тандемных тележек. В трансмиссиях гусеничных валочных машин используется гидронасос и гидромоторы привода ведущих звёздочек гусениц. Каждый гидромотор хода осуществляет передачу вращения на ведущую звездочку через механический редуктор.

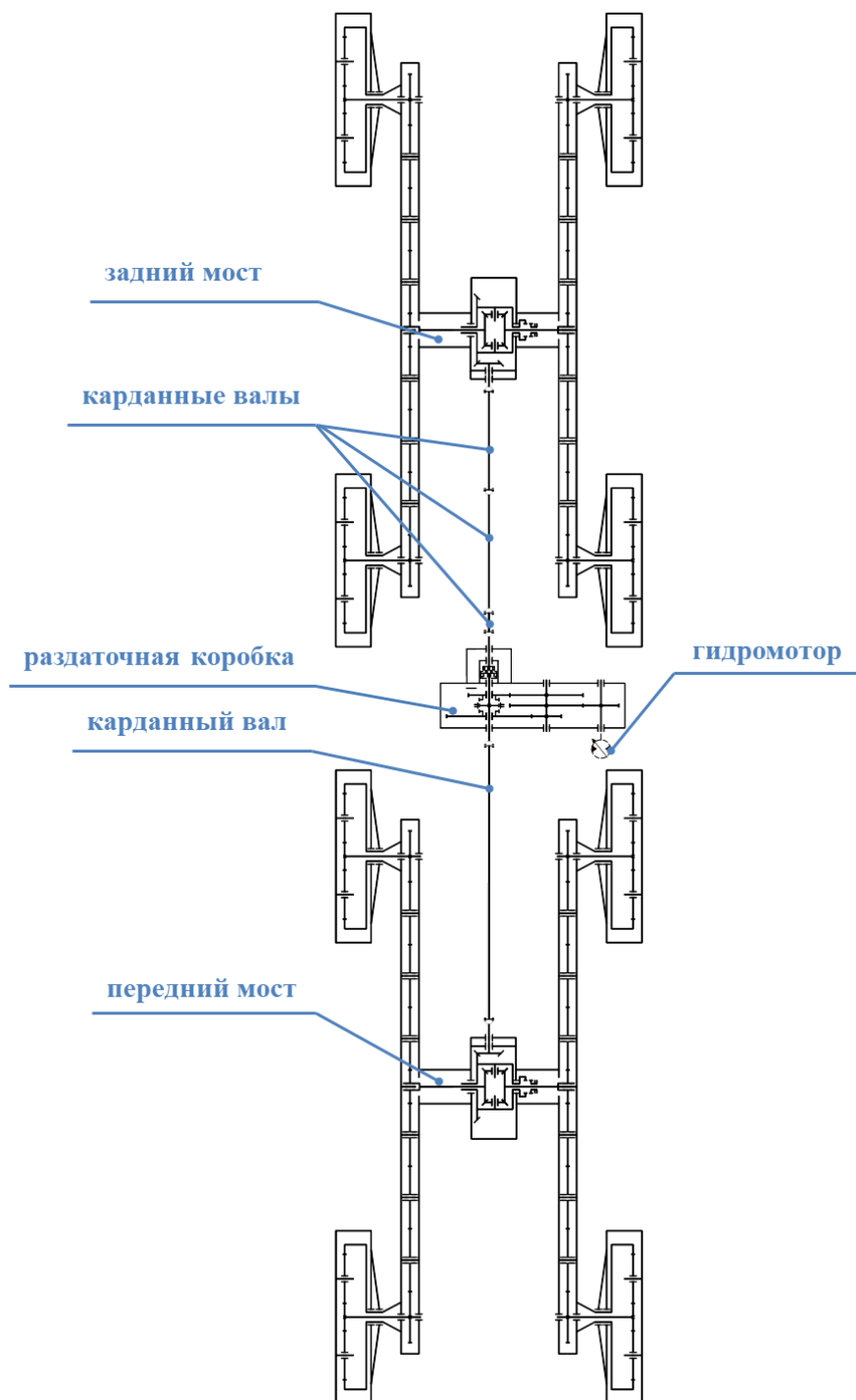
Цель данной работы – рассмотреть компоновки механических агрегатов трансмиссий, применяемых на импортных лесозаготовительных машинах и представить кинематические схемы типовых раздаточных коробок, главных передач, тандемных тележек колёсных машин для сортиментной технологии и редукторов хода в трансмиссии гусеничных машин.

Методы: изучение каталогов запасных частей и реальных конструкций агрегатов.

Результаты. В колёсных лесозаготовительных машинах для сортиментной и хлыстовой технологий широкое применение нашли агрегаты, которые производит компания NAF (Neunkirchener Achsenfabrik AG). Компания поставляет раздаточные коробки и мосты для харвестеров, форвардеров и скиддеров. Все основные производители лесозаготовительных машин, занимающие лидирующие позиции на рынке, используют агрегаты этой компании. В текущий период для лесозаготовительных машин компания предлагает: раздаточные коробки модели VG75 с диапазонами передаточных отношений: 2.64-6.63; 1.06-2.0; коробки передач от двух двигателей моделей VGZ86 (передаточные отношения: 4.35-5.02; 1.81-2.09) и VSZ76 (передаточные отношения: 3.27-4.03; 1.07-1.68); тандемные мосты моделей TAP54 (передаточное отношение: 16.8-21.23); PTA44 (передаточное отношение: 19.5-20.3); PTA87 (передаточное отношение: 27.44-35.68); жёсткие мосты SAP87 (передаточное отношение: 13.33-30.86) – [1].

Одна из типовых схем механической трансмиссии, используемая в колёсных лесозаготовительных машинах, предназначенных для сортиментной технологии, представлена на рис. 1. Данная механическая трансмиссия используется на восьмиколесных форвардерах и состоит из раздаточной коробки, карданных валов и мостов, которые, в свою очередь, состоят из главных передач, дифференциалов и тандемных тележек.

Раздаточная коробка. Типовая компоновка включает две передачи и муфту включения / отключения полного привода. На рис. 2 представлена распространённая схема компоновки раздаточной коробки. Были обнаружены следующие сочетания чисел зубьев косозубых цилиндрических зубчатых колёс [2]. Число зубьев: ведущее зубчатое колесо 1,  $z_1=18$ ; промежуточные колёса: колесо 2,  $z_2=37$ ; колесо 3,  $z_3=37$ ; колесо 4,  $z_4=15$ ; ведомые колёса: колесо 5,  $z_5=34$ ; колесо 6,  $z_6=43$ . Передаточные отношения для данной компоновки (рис. 2):  $U_{13}=2.06$ ;  $U_{25}=0.92$ ;  $U_{46}=2.87$ . Общее передаточное отношение при включении повышенной передачи:  $U_{15}=1.895$ . Общее передаточное отношение при включении пониженной передачи:  $U_{16}=5.91$ .



**Рис. 1.** Типовая схема механической трансмиссии в колёсных лесозаготовительных машинах для сортиментной технологии

Второй вариант сочетания чисел зубьев для раздаточной коробки. Число зубьев: ведущее зубчатое колесо 1,  $z_1=20$ ; промежуточные колёса: колесо 2,  $z_2=40$ ; колесо 3,  $z_3=31$ ; колесо 4,  $z_4=15$ ; ведомые колёса: колесо 5,  $z_5=43$ ; колесо 6,  $z_6=50$ . Передаточные отношения:  $U_{13}=1.55$ ;  $U_{25}=1.075$ ;  $U_{46}=3.33$ . Общее передаточное отношение при включении повышенной передачи:  $U_{15}=1.67$ . Общее передаточное отношение при включении пониженной передачи:  $U_{16}=5.17$ .

Третий вариант сочетания чисел зубьев. Число зубьев: ведущее зубчатое колесо 1,  $z_1=18$ ; промежуточные колёса: колесо 2,  $z_2=39$ ; колесо 3,  $z_3=37$ ; колесо 4,  $z_4=16$ ; ведомые колёса: колесо 5,  $z_5=31$ ; колесо 6,  $z_6=44$ . Передаточные отношения:  $U_{13}=2.06$ ;  $U_{25}=0.79$ ;  $U_{46}=2.75$ . Общее передаточное отношение при включении

повышенной передачи:  $U_{15}=1.63$ . Общее передаточное отношение при включении пониженной передачи:  $U_{16}=5.67$  – [3].

Четвертый вариант сочетания чисел зубьев. Число зубьев: ведущее зубчатое колесо 1,  $z_1=19$ ; промежуточные колёса: колесо 2,  $z_2=33$ ; колесо 3,  $z_3=40$ ; колесо 4,  $z_4=16$ ; ведомые колёса: колесо 5,  $z_5=43$ ; колесо 6,  $z_6=53$ . Передаточные отношения:  $U_{13}=2.1$ ;  $U_{25}=1.3$ ;  $U_{46}=3.31$ . Общее передаточное отношение при включении повышенной передачи:  $U_{15}=2.73$ . Общее передаточное отношение при включении пониженной передачи:  $U_{16}=6.95$  – [4].

В рассматриваемой компоновке раздаточной коробки отсутствуют механизмы для синхронизации вращения зубчатых колёс. Зубчатые колёса находятся в постоянном зацеплении друг с другом. Конструктивные решения, применяемые в тракторе, не позволяют переключать передачи во время движения. Колёса 5 и 6, рис. 2, свободно вращаются на валу. Переключение передач осуществляется посредством муфты 8, рис. 2. Зубья подвижной части муфты при переключении передач входят в зацепление с зубьями полу муфт зубчатых колёс 5 и 6.

Раздаточная коробка оснащена муфтой полного привода 7 (рис. 2). Муфта полного привода предназначена для отключения привода задних колёс на форвардере и передних колёс на харвестере. Типовые конструктивные решения, применяемые на лесозаготовительных машинах, обеспечивают автоматическое включение привода на задние колёса в форвардере (на передние колёса в харвестере), когда выбирается пониженная передача, и автоматическое отключение привода задних колёс в форвардере (передних колёс в харвестере), когда выбирается повышенная передача. Типовая конструкция также позволяет в ручном режиме включать привод на задние колёса (передние колёса в харвестере), когда включается повышенная передача.

Крутящий момент передаётся от раздаточной коробки на передний и задний мосты. Типовая компоновка для форвардера – крутящий момент передаётся на задний мост посредством трёх карданных валов, на передний мост – одного карданного вала (рис. 1). В харвестере крутящий момент на задний мост передаётся с помощью одного карданного вала, на передний – с помощью двух карданных валов.

В компоновках форвардеров были обнаружены одноступенчатые раздаточные коробки (рис. 3) [5]. Число зубьев колеса 1,  $z_1=26$ ; колеса 2,  $z_2=103$ . Передаточное отношение:  $U_{12}=3.96$ .

Особенностью данной компоновки является то, что планетарная передача (зубчатые колёса 6 – 8) замыкает компоновочную схему и встроена в колесо трактора. В качестве ведущего зубчатого колеса механизмов тандемной тележки выступает зубчатое колесо 1. На входе в тандемную тележку данной компоновки отсутствует планетарная передача.

Данное компоновочное решение включает следующие числа зубьев:

- тандем: колесо 1,  $z_1=17$ ; колёса 2, 3, 4,  $z_2=z_3=z_4=32$ ; колесо 5,  $z_5=26$  (передаточное отношение:  $U_{15}=1.53$ );

- планетарная передача: колесо 6,  $z_6=14$ ; колёса 7 (4 сателлита),  $z_7=25$ ; колесо 8 (неподвижное колесо),  $z_8=66$  (передаточное отношение:  $U_{6 \text{ водило}}=5.71$ );

- общее передаточное отношение механизмов тандема,  $U_{1 \text{ водило}}=8.74$ ;

- главная передача: колесо 9,  $z_9=12$ ; колесо 10,  $z_{10}=34$  (передаточное отношение:  $U_{910}=2.83$ );

- дифференциал: полуосевая шестерня – колесо 12,  $z_{12}=16$ ; 4 сателлита – колёса 11,  $z_{11}=10$ . Зубчатые колёса дифференциала были исследованы на компоновке другого вида, но, выпускаемой той же самой компанией для аналогичного по назначению трактора. Есть основания полагать, что

дифференциалы во всех однотипных машинах с трансмиссиями одной и той же компании одинаковые.

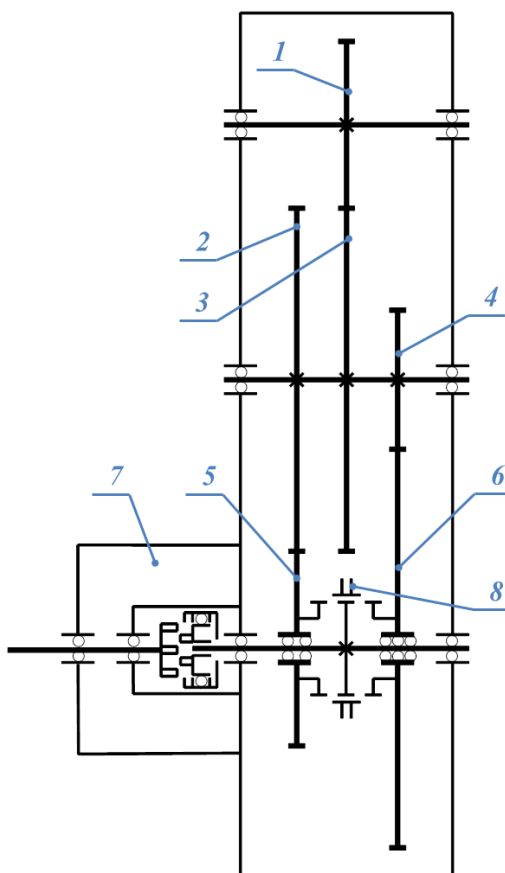


Рис. 2. Схема типовой раздаточной коробки

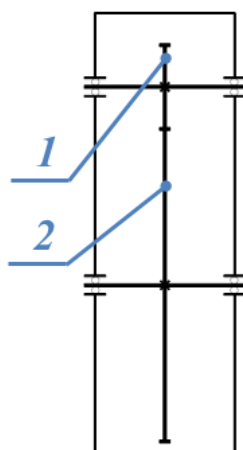
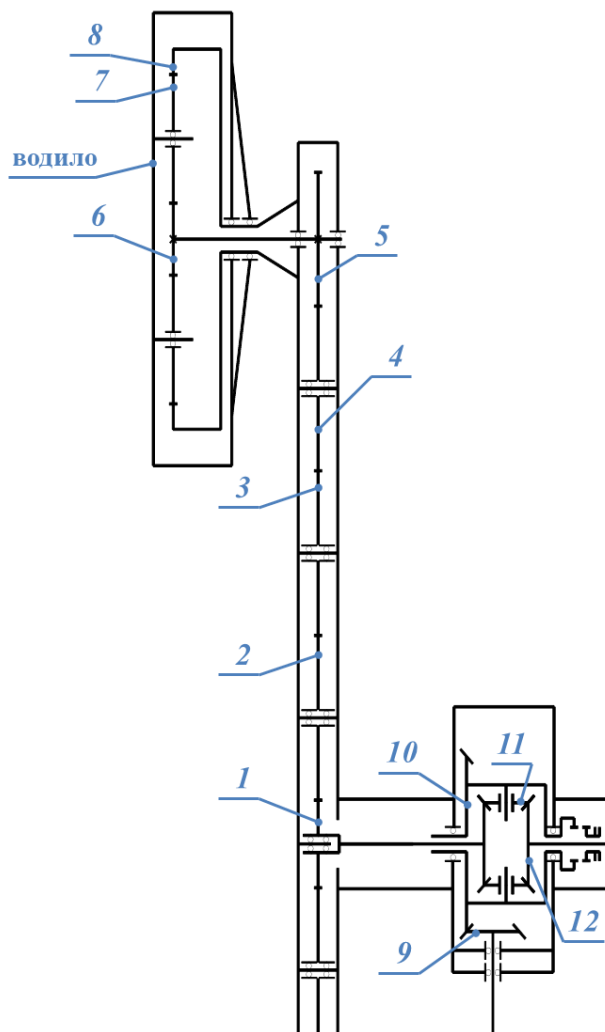


Рис. 3. Схема одноступенчатой раздаточной коробки

На харвестерах и форвардерах используются дифференциалы с механизмом блокировки. В исследованных компоновках тракторов для блокировки дифференциалов используется зубчатая муфта, которая включается с помощью гидропривода. Применяемые конструктивные решения позволяют включить блокировку только тогда, когда трактор неподвижен. Если включить блокировку дифференциала в момент движения машины, то машина автоматически остановится и после этого включится блокировка.

В других конструкциях тандемной тележки, рассматриваемой компоновки (рис. 4), были обнаружены зубчатые колёса со следующим числом зубьев: колёса 2, 4,  $z_2 = z_4 = 32$ ; колесо 3,  $z_3 = 21$ ; колесо 5,  $z_5 = 27$  – [2]; в отдельной компоновке число зубьев для колеса 5,  $z_5 = 28$  – [4].



**Рис. 4.** Фрагмент схемы моста

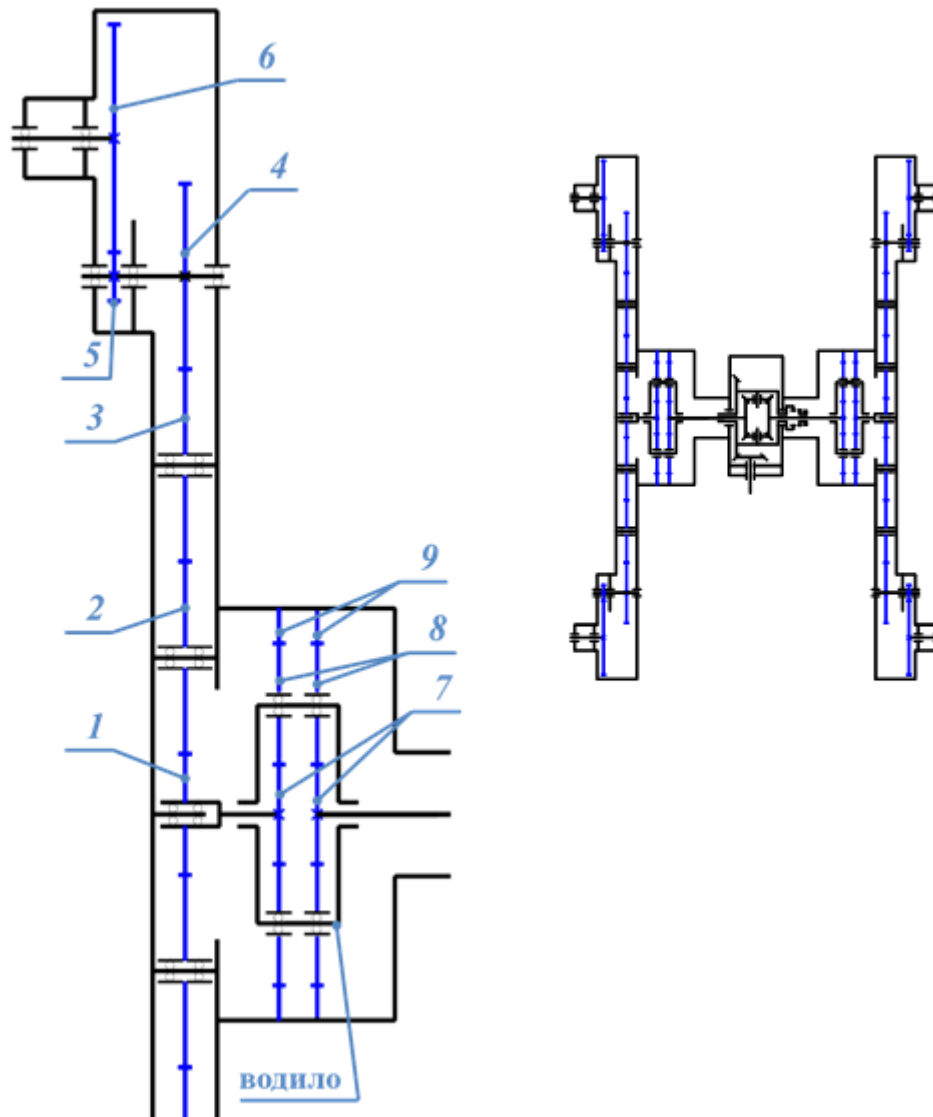
Альтернативные варианты компоновки моста с тандемами. В одной из компоновок появляется планетарная передача на входе в тандем, но отсутствует колёсная планетарная передача (рис. 5) [7]. В другой альтернативной компоновке планетарные передачи используются как на входе в тандем, так и в качестве замыкающей передачи (рис. 6) [8].

Для компоновочного решения, представленного на рис. 5, были обнаружены следующие сочетания чисел зубьев в передачах:

- тандем: колесо 1,  $z_1 = 16$ ; колёса 2, 3,  $z_2 = z_3 = 24$ ; колесо 4,  $z_4 = 30$ ; колесо 5,  $z_5 = 11$ ; колесо 6,  $z_6 = 49$  (передаточное отношение:  $U_{16} = 8.35$ );

- сдвоенная планетарная передача на входе в тандем: колёса 7,  $z_7 = 18$ ; колёса 8 (4 сателлита на каждую передачу),  $z_8 = 23$ ; колёса 9 (неподвижные колёса),  $z_9 = 66$ .

В этой же компоновке числа зубьев главной передачи: ведущее колесо – 11; ведомое колесо – 31 (передаточное отношение:  $U = 2.82$ ).



**Рис. 5.** Схема тандемной тележки с планетарной передачей на входе

Для компоновочного решения, представленного на рис. 6, были обнаружены следующие сочетания чисел зубьев в передачах – [4]:

- тандем: колесо 1,  $z_1=22$ ; колёса 2, 3,  $z_2=22$ ,  $z_3=24$ ; колесо 4,  $z_4=32$ ; колесо 5,  $z_5=18$ ; колесо 6,  $z_6=25$  (передаточное отношение:  $U_{16}=2.02$ );

- сдвоенная планетарная передача на входе в тандем: колёса 7,  $z_7=18$ ; колёса 8,  $z_8=23$  (количество сдвоенных сателлитов 4 или 3); колёса 9 (неподвижные колёса),  $z_9=66$ ;

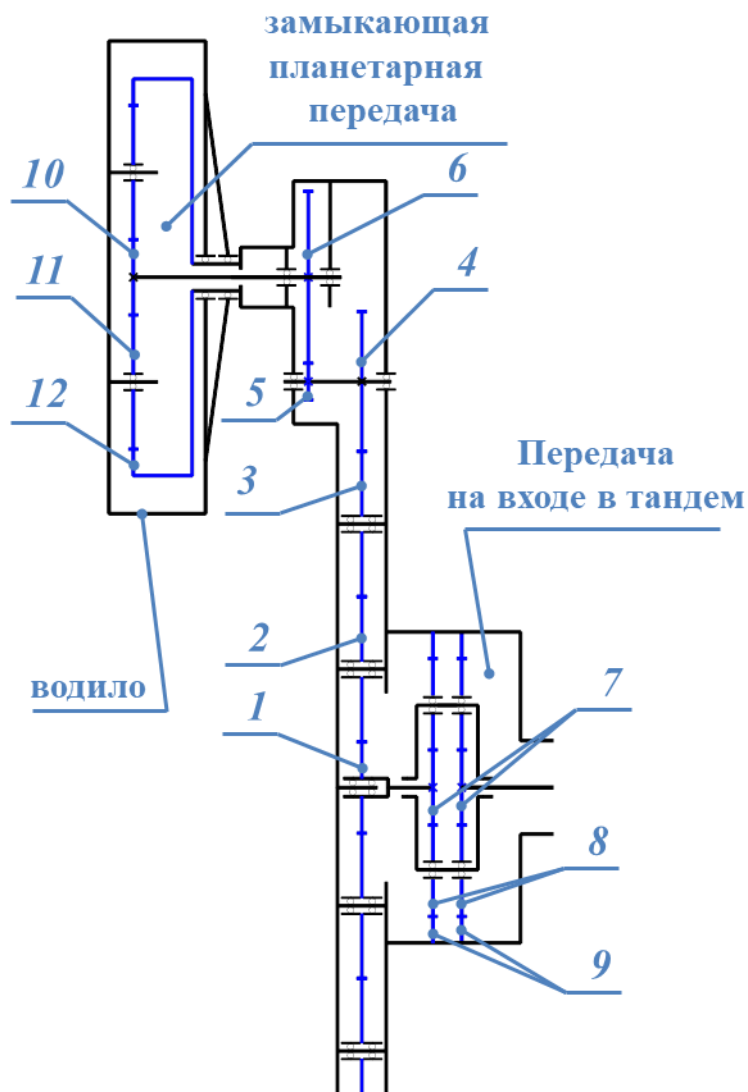
- замыкающая планетарная передача: колесо 10,  $z_{10}=14$  (или 18); колёса 11 (4 сателлита),  $z_{11}=25$  (или 23); колесо 12 (неподвижное колесо),  $z_{12}=66$  (передаточное отношение:  $U_{10 \text{ водило}}=5.71$  (или 4.67)).

Отмечено разнообразие сочетаний чисел зубьев колёс в передачах, используемых в конструкциях механических трансмиссий. Но обнаружение всех вариантов чисел зубьев колёс в трансмиссиях лесозаготовительных машин представляется затруднительным, так как компании не раскрывают особенности своих конструкций, представляя их в общем виде. Для полного анализа необходимо исследовать действительные конструкции агрегатов, когда они находятся в состоянии разборки / сборки при ремонте или использовать информацию, которую могут предоставить механики, вовлечённые в процессы ремонта и технического обслуживания агрегатов механических трансмиссий.

Так, в компоновках мостов было обнаружено следующее сочетание чисел зубьев колёс главной передачи (ведущее колесо / ведомое колесо): 12/28 (передаточное отношение:  $U=2.33$ ); 6/34 (передаточное отношение:  $U=5.67$ ). Далее приводятся сведения о сочетаниях чисел зубьев колес главной передачи и эти сведения получены от механиков, т.е. автор статьи не располагает собственными подтверждающими источниками о наличии следующих соотношений: 6/27; 6/31; 15/31.

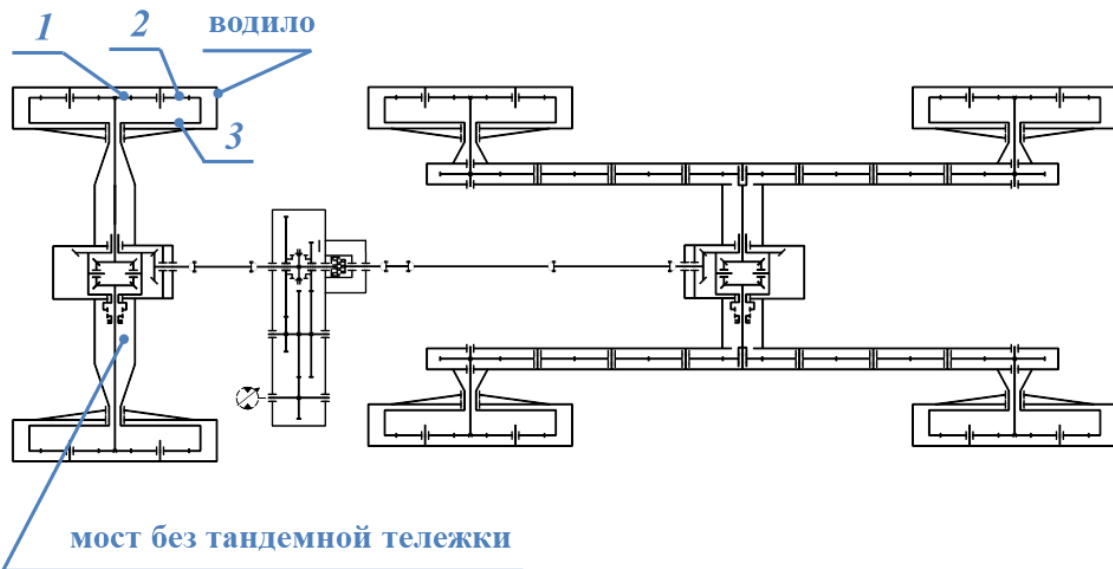
В случае четырех или шести колёсных вариантах применяются мосты без тандемных тележек. В четырёхколёсном варианте – оба моста без тандемных тележек. Для шестиколёсного варианта форвардера на переднем мосту не используется тандемная тележка, для харвестера – на заднем мосту отсутствует тандемная тележка. Типовая схема механической трансмиссии с мостом без тандемной тележки представлена на рис. 7.

Мост без тандемной тележки состоит из главной передачи, дифференциала и колёсного редуктора в виде планетарной передачи. В мостах без тандемных тележек главная передача и дифференциал такие же, как и в мостах с тандемными тележками. Планетарная передача (рис. 7) состоит из колеса 1,  $z_1=14$ ; колёс 2 (4 сателлита),  $z_2=25$ ; колеса 3 (неподвижное колесо),  $z_3=66$  и водила. Передаточное отношение:  $U_{1 \text{ водило}}=5.71$ .



**Рис. 6.** Фрагмент схемы тандемной тележки с планетарными передачами на входе в тандем и в конце кинематической схемы тандема





**Рис. 7.** Схема трансмиссии для шестиколёсного варианта лесозаготовительной машины

В гусеничных лесозаготовительных машинах механические трансмиссии используются в приводе ведущих звёздочек гусениц. Гидромоторы хода оснащены редукторами, выполненными по схеме, представленной на рис. 8. Применяются следующие конструкции.

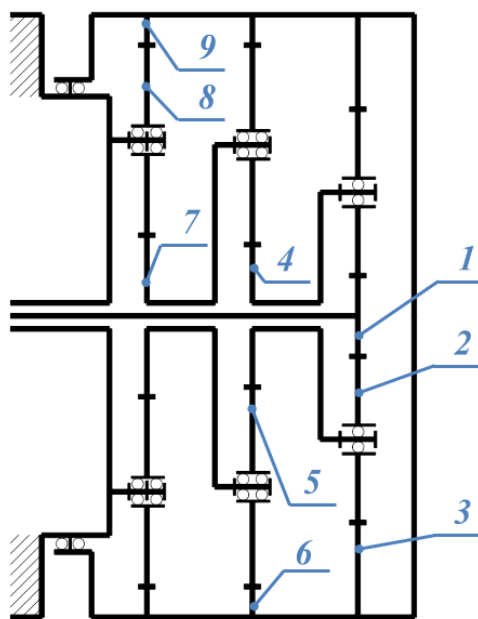
Компоновка №1 – [9]. Числа зубьев колёс и модуль:

- колесо 1,  $z_1=17$  зубьев; 3 сателлита – колесо 2,  $z_2=35$  зубьев; колесо 3,  $z_3=88$  зубьев; модуль,  $m = 3$  мм;

- колесо 4,  $z_4=18$  зубьев; 3 сателлита – колесо 5,  $z_5=25$  зубьев; колесо 6,  $z_6=69$  зубьев; модуль,  $m = 5$  мм;

- колесо 7,  $z_7=21$  зубьев; 5 сателлитов – колесо 8,  $z_8=24$  зубьев; колесо 9,  $z_9=69$  зубьев; модуль,  $m = 5$  мм.

Компоновка №2. Колесо 1,  $z_1=21$  зубьев; 3 сателлита – колесо 2,  $z_2=33$  зубьев; колесо 3,  $z_3=87$  зубьев; модуль,  $m = 3$  мм. Для остальных колёс числа зубьев такие же, как для компоновки №1, отличие для этих колёс состоит в значениях модуля, в этом случае –  $m = 4.5$  мм.



**Рис. 8.** Схема редуктора хода

В работе представлены примеры компоновок механических агрегатов, используемых в трансмиссиях современных лесозаготовительных машин. Автор не ставил своей целью представить исчерпывающий массив сведений, описывающий все возможные варианты кинематических схем, а систематизировал некоторый объём материала, собранный в процессе исследования отдельных конструкций лесозаготовительных машин. Автор статьи допускает, что, несмотря на некоторые сложности, возникающие при изучении конструкций технологических машин, другие исследователи могли собрать и предоставить в открытый доступ дополнительные и более обширные сведения, касающиеся компоновочных особенностей серийных тракторов, распространённых на лесозаготовках в текущий период.

### **Литература**

1. NAF. Modular-minded-axles / NAF. – URL: <https://ru.nafaxles.com/> (дата обращения: 05.10.2022).
2. Parts manual for TimberPro 810B, 830B, 840B and 630B / TimberPro, 2008.
3. Parts catalog 1270G Wheeled harvester, 6W / John Deere, 2017.
4. Parts catalog 1210G Forwarder / John Deere, 2017.
5. Parts manual for TimberPro 620-E and 820-E machines / TimberPro, 2003.
6. Parts manual for TimberPro TF 810, 830, 840 and TB 630's / TimberPro, 2006.
7. Каталог запасных частей Valmet 860.4 / Komatsu, 2010.
8. Parts catalog 1510E Forwarder / John Deere, 2011.
9. Parts manual for TimberPro 700C Series / TimberPro, 2008.