

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СМАЗКИ МАШИН,  
ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ МЕХАНИЗАЦИИ МЕЛИОРАТИВНЫХ РАБОТ**

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

**А.А. Райко, магистрант**

**В.Д. Проволёнок, инженер**

**А.Н. Комаровский, студент**

*Белорусский национальный технический университет*

*г. Минск, Беларусь*

**Аннотация**

Выполнен анализ применяемых гидравлических систем смазки в трансмиссиях, коробках передач и редукторах тракторов и приводах рабочих органов машин, используемых при механизации мелиоративных работ. Приведены результаты экспериментальных исследований по определению температуры смазочного масла в коробке и его расхода в зависимости от условий эксплуатации. Даны рекомендации по совершенствованию узлов системы смазки трансмиссий мобильных машин.

**Ключевые слова:** *вязкость масла, зубчатая передача, гидравлическая система, смазка, шестеренный насос, трансмиссия, бортовой редуктор*

**Abstract**

**A.I. Bobrovnik, A.A. Rayko, V.D. Provolenok, A.N. Komarovskiy**

**IMPROVING THE SYSTEM OF HYDRAULIC LUBRICATION OF MACHINES USED IN MECHANIZATION OF RECLAMATION WORKS**

The analysis of the applied hydraulic lubrication systems in transmissions, gearboxes and reducers of tractors and drives of the working parts of machines used in the mechanization of land reclamation works is carried out. The results of experimental studies on the determination of the temperature of lubricating oil in the box and its consumption depending on the operating conditions are given. Recommendations for improving the nodes of the lubrication system for transmissions of mobile machines are given.

**Keywords:** *oil viscosity, gear, hydraulic system, lubrication, gear pump, transmission, final drive*

**Введение**

Интенсивное развитие агропромышленного комплекса Республики Беларусь связано с реконструкцией мелиоративных систем на основе внедрения высокоэффективных и экономичных агрегатов. В качестве тягового средства таких агрегатов в Республике Беларусь используют тракторы «БЕЛАРУС», выпускаемые одним из крупнейших производителей сельскохозяйственной техники в мире ОАО «Минский тракторный завод». При конструировании силовых передач тракторов различного тягового класса и мелиоративных машин особое значение придается обеспечению надежности. Важнейшую роль при этом играют гидравлические системы смазки узлов мобильных машин и управления гидро-

механическими передачами, широко используемых в различных силовых передачах и приводах, системах управления, в том числе рулевым, приводах тормозных механизмов, рабочем оборудовании мелиоративных машин. Смазочные материалы в машинах применяют с целью уменьшения интенсивности изнашивания, снижения сил трения, отвода от трущихся поверхностей теплоты и продуктов изнашивания, а также для предохранения деталей от коррозии. Снижение сил трения благодаря смазке обеспечивает повышение коэффициента полезного действия машин и механизмов. Кроме того, большая стабильность коэффициента трения и демпфирующие свойства слоя смазочного материала между взаимодействующими поверхностями способствует снижению

динамических нагрузок, увеличению плавности и точности работы машин.

Условием надежной и долговечной работы силовых гидравлических систем агрегатов является сохранение смазочными материалами своих первоначальных качеств и свойств. Количественные изменения происходят при испарении легких масляных фракций, частичном вытекании через уплотнительные устройства. Качественные изменения связаны с изменением физико-химических свойств. Процесс старения масла происходит при воздействии на него высоких давлений и температур, при соприкосновении с воздухом и конденсированными парами воды, пылью, металлическими поверхностями деталей и продуктами их изнашивания. Основным генератором продуктов износа такого рода являются гидравлические насосы и моторы, муфты включения, содержащие высокоскоростные пары трения, попадающие непосредственно в смазку. «Дыхание» гидравлического бака или «подсос» через уплотнения гидроцилиндров приводят к загрязнению смазочных материалов и поверхностей агрегатов мелкодисперсной атмосферной пылью. Накопление твердых, мягких, жидких и газообразных загрязнений в смазочных материалах приводит к изменению их физико-химических свойств, что оказывает существенное влияние на работу гидравлических систем. Это вызывает: абразивный износ трущихся поверхностей деталей; заклинивание золотников гидравлических распределителей, предохранительных и редуцированных клапанов; засорение масляных каналов и дренажных отверстий в элементах гидравлической системы; изменение вязкости и ухудшение поступления смазочных материалов к парам трения; уменьшение подачи гидравлических насосов, изменение расходных характеристик дросселирующих устройств гидравлических систем; кавитационный износ, повышенный шум работы гидравлической системы. Поэтому в технической документации на машины предусмотрена замена масла через регламентируемое время работы машины.

В коробках передач смазка служит для уменьшения трения, отвода тепла и уноса частиц износа. Она во многом определяет работоспособность коробок. Смазка подводится к контактирующим поверхностям, которые находятся в относительном движении между собой, т.е. к зубьям шестерен, подшипникам

скольжения и качения и другим различным сочленениям [1].

Анализу используемых систем смазки в машиностроении, в том числе в приводах тракторов и мелиоративных машинах, перспективам их развития посвящена настоящая статья.

### Основная часть

По месту нахождения масла система смазки бывает двух типов: с мокрым или сухим картером. При мокром картере масло заливается непосредственно в картер коробки, при сухом – в отдельную емкость. Во втором случае масло на смазку подается нагнетающим насосом. Стекающее в картер масло забирается откачивающим насосом и направляется в емкость, которая расположена или внутри, или снаружи картера. Смазка может осуществляться разбрызгиванием, под давлением и быть комбинированной.

При использовании смазки разбрызгиванием с мокрым картером уровень масла должен иметь определенное значение, и отклоняться от него можно только в ограниченных пределах. Этот способ применяется в основном для простых ступенчатых коробок передач с неплотной компоновкой, что характерно для тракторных коробок. При такой смазке требуются повышенные объемы картера для хранения масла и отвода тепла. Качество смазки зависит в большой степени от уровня масла, а также от углов дифферента и крена корпуса машины при эксплуатации трактора. В зависимости от условий работы узлов назначают виды смазывания (ГОСТ 18273-72), которые характеризуют как время, так и способ подвода и нанесения смазочного материала на поверхности трения.

К эксплуатационным свойствам смазочных материалов относятся в первую очередь те, от которых зависят потери энергии на трение, износ трущихся поверхностей, образование отложений, коррозия деталей и работа механизмов при низких температурах. Главными из них являются смазывающие, вязкостно-температурные, моющие, антиокислительные и антикоррозионные свойства, термоокислительная стабильность. Они оцениваются плотностью, вязкостью, температурой вспышки и застывания, щелочным и кислотным числом, загрязненностью механическими примесями и водой. Изменение этих показателей свыше допустимых норм ведет к ограничению

использования масел или необходимости корректировки показателей качества, а в случае невозможности доведения их до норм такие масла следует выбраковывать. В отношении цикличности подачи смазочного материала различают: непрерывное, периодическое, ресурсное (один раз за весь ресурс), предварительное (нанесение смазочного материала на поверхности до работы деталей), предпусковое (перед каждым пуском) и другие виды смазывания.

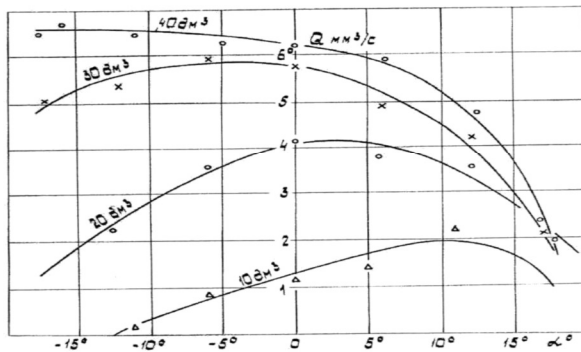
Способы подвода и нанесения смазочного материала на поверхности трения характеризуются следующими видами смазывания: циркуляционное (жидкий смазочный материал подается принудительно, например поливом, к поверхностям трения, стекает с них в сборник и через нагнетательную систему вновь подается к поверхностям трения); погружением (поверхность трения частично или полностью, постоянно или периодически погружена в ванну с жидким смазочным материалом); под давлением (жидкий смазочный материал подается к поверхности трения под избыточным давлением); масляным туманом (к поверхности трения подается смесь воздуха или другого газа); разбрызгиванием (смазочный материал подается на поверхность трения за счет разбрызгивания его движущимися деталями) и др.

В качестве насосов используют шестеренчатые, работа которых с достаточно высоким КПД возможна только в номинальном режиме. Он достигается при частоте вращения приводного вала 2200–2400 мин<sup>-1</sup>. Недостатками шестеренчатых являются повышенный уровень шума, значительная пульсация рабочей подачи, отсутствие исполнений с регулируемой подачей. При частотах вращения меньших 600–800 мин<sup>-1</sup> жидкость не успевает заполнить впадины между зубьями шестерен, вызывая падение КПД до 30 %, что приводит к нецелесообразности использования объемных насосов указанного типа. При поворотах трактора либо при работе его с высокой нагрузкой снижается частота вращения коленчатого вала двигателя, что в свою очередь приводит к уменьшению частоты вращения вала насоса. При таких режимах работы производительности насоса становится недостаточно для обеспечения рабочей функции шестеренчатых насосов, используемых в гидравлической навесной системе, рулевом управлении и коробке передач тракторов малой и средней энергонасыщенности. Насосы выполнены

с рабочим объемом от 6,3 до 50 см<sup>3</sup> массой 1,5–4,5 кг.

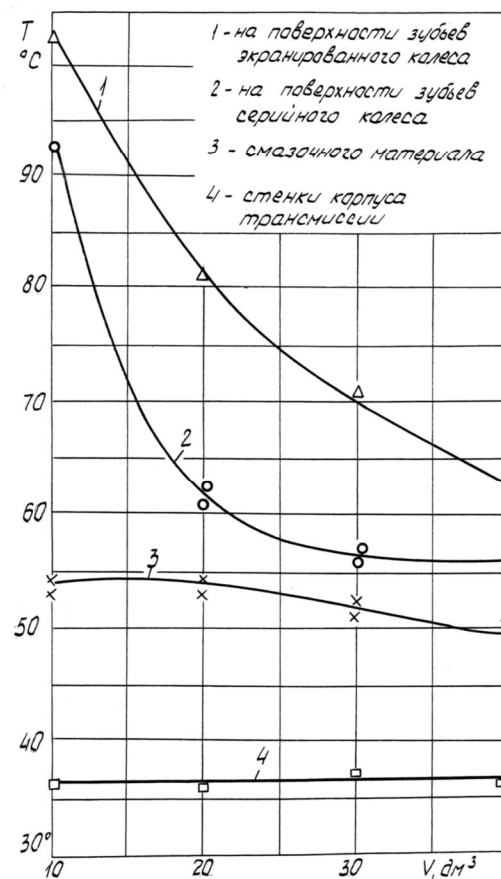
Для оценки эффективности смазывания подшипников качения нами выбран метод измерения расхода через конический подшипник вторичного вала коробки передач трактора класса 1,4. При этом использовалась специальная ловушка, представляющая профилированное кольцо С-образного сечения, устанавливаемая между подшипником и зубчатым колесом. Расход смазочного подшипника через подшипник измерялся при номинальной частоте вращения коленчатого вала двигателя и уменьшении объема масла в корпусе от 40 до 10 дм<sup>3</sup> и изменения продольного наклона корпуса от +18 до -18 °С. В результате установлено, что сокращение объема смазочного материала, заливаемого в корпус трансмиссии, вызывает снижение расхода через подшипник. Наклон корпуса трансмиссии на 15 °С и выше на подъеме и спуске вызывает снижение расхода смазочного материала через подшипник вплоть до его прекращения (рис. 1).

Для оценки эффективности системы смазки зубчатых передач коробки передач используют температуру смазочного материала в паре трения. Один из методов измерения температуры поверхности – оценка параметров его теплового изучения посредством пирометра, достоинством которого является бесконтактность метода измерения. Допускаемое значение температуры пленки на поверхности трения гарантированно превышает максимально допускаемую температуру смазочного материала в корпусе трансмиссии. По данным различных исследователей допускаемая температура составляет 120–150 °С. Если при экстремальном режиме температуру ограничить 200 °С, тогда допускаемая температура пленки должна быть 120–150 °С при температуре воздуха 30 °С. Температура смазочного материала в корпусе тракторной трансмиссии обычно не превышает 90 °С. Исследования показывают, что сокращение объема смазочного материала, заливаемого в корпус, вызывает увеличение температуры пленки смазочного материала на поверхностях зубьев колес второй ступени редуктора коробки передач трактора класса 1,4 (рис 2.). Однако температура пленки на поверхности зубьев не достигает максимально допустимого значения 120 °С. Изменение частоты вращения двигателя не оказывает влияния на эффективность смазывания колес.



**Рисунок 1 – График расхода смазочного материала в зависимости от угла продольного наклона трансмиссии**

Рассмотрим условия работы машинно-тракторных агрегатов. В зависимости от тягового класса тракторов «БЕЛАРУС» разработаны различные кинематические схемы трансмиссий. При мощности до 73 кВт используют трактора с колесной формулой 4×2 с механической трансмиссией и колесной формулой 4×4, а большей мощностью – с колесной формулой 4×4 и коробкой с переключением на ходу и передним ведущим мостом. Самые мощные трактора «БЕЛАРУС-3022В» класса 50 кН с колесной формулой 4×4 предназначены для выполнения различных сельскохозяйственных работ с навесными, полунавесными и прицепными машинами и орудиями, на транспорте, с погрузочно-разгрузочными средствами, уборочными комплексами, а также для привода стационарных сельскохозяйственных машин [2]. Тракторы оборудуются реверсивным постом управления и могут работать длительное время в режиме реверса. Они используются на пахоте на повышенных скоростях, глубоком рыхлении, культивации, предпосевной обработке почвы, посеве зерновых и других культур в составе широкозахватных и комбинированных агрегатов, выполнении пропашных культур в широких междурядьях, уборочных работах в составе высокопроизводительных уборочных комплексов по заготовке кормов, уборке зерновых культур, транспортных и погрузочных работах. Установка встроенного в трансмиссию ходоуменьшителя позволяет использовать трактор на мелиоративных, землеройных и дорожно-строительных работах, что значительно увеличивает годовую занятость трактора и экономическую эффективность его использования.



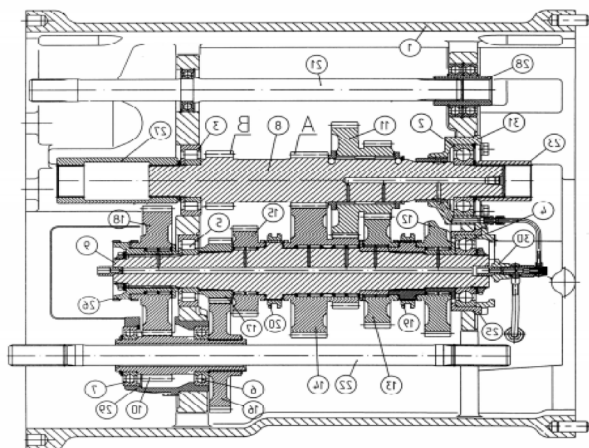
**Рисунок 2 – Зависимость температуры масла от объема смазочного материала в корпусе трансмиссии**

Широкий диапазон балластирования и заполнения колес жидкостью, возможность установки колес нескольких типоразмеров, в том числе сдвигания колес, позволяет использовать трактор на почвах различной несущей способности. Трактор может использоваться на возделывании пропашных и овощных культур, нарезке гребней и гряд.

Гидравлическая система трансмиссии трактора «БЕЛАРУС-3022» обеспечивает переключение передач внутри каждого диапазона, фильтрацию масла, смазку подшипников трансмиссии, привода насоса, дифференциала и конечных планетарных передач заднего моста, для обеспечения управления муфтой сцепления, приводом переднего ведущего моста, валом отбора мощности и блокировкой дифференциала заднего моста. В коробке обеспечена принудительная смазка игольчатых подшипников по каналам, выполненным на валу. Продольный канал расположен по центру вала, а радиальные каналы – в местах установки втулок с подшипниками, на которых вращаются шестерни. Во втулках также предусмотрены

отверстия для смазки. В ходоуменьшителе, встроенном в коробку передач и обеспечивающем диапазон скоростей 0,3–10,0 м/с также предусмотрена принудительная смазка игольчатых подшипников по каналам, выполненных в валах.

На рис. 3 приведена конструкция диапазонного редуктора трактора «БЕЛАРУС–3022», в котором установлены в корпусе 1 входной вал 8 (валы 3-го и 4-го диапазонов), выходной вал 9 (вал 1-го и 2-го диапазонов), вал 10 ходоуменьшителя.



**Рисунок 3 – Редуктор переключения диапазонов:**

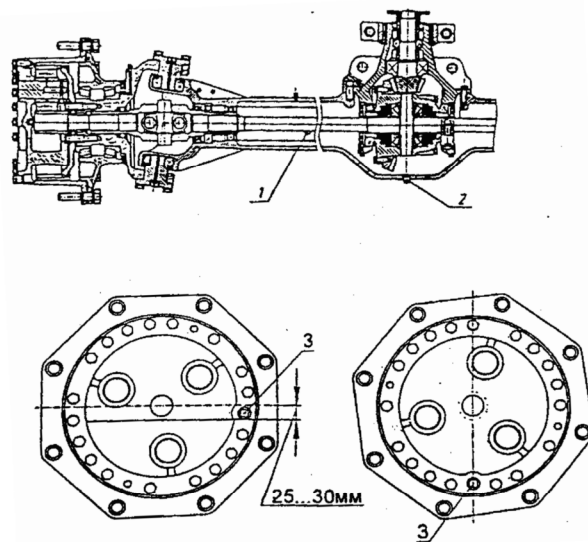
1 – корпус; 2, 3, 4, 5, 6, 7 – подшипники; 8, 9, 10 – вал; 11, 12, 13, 14, 15, 17 – шестерни; 16, 18 – шестерни ходоуменьшителя; 19, 20 – зубчатые муфты; 21 – вал привода ВОМ; 22 – вал привода ПВМ; 23, 26, 27, 28 – втулки; 25, 29, 31 – стаканы; 30 – крышка

Принудительное смазывание игольчатых подшипников производится по каналам, выполненных в валах 8, 9. Подвод масла осуществляется по трубопроводу. В корпус трансмиссии заливается масло моторное летнее М-10Г2 или М-10В2 по ГОСТу 8581-78 или зимнее М-8Г или М-8В2 объемом 120+1 л. В качестве зарубежного масла используется Shell Rotella TX 30, TX 20W20 (Англия) или Hessel Turbo дизель SAE 15W-40 API GF-4 (Германия). Картой планового технического обслуживания трактора предусматривается проверка уровня масла в трансмиссии через 10 ч работы. Замена масла в трансмиссии предусмотрена через 1000 ч.

Для передачи крутящего момента к передним управляемым колесам применяется передний ведущий мост, состоящий из цельнолитой балки, центрального редуктора, карданных шарниров, полуосевых валов и планетарных колесных редукторов (рис. 4). Правильный уровень масла в корпусе перед-

него ведущего моста трактора должен быть до нижней кромки резьбового отверстия, закрываемого заливной пробкой 1, слив масла осуществляется через отверстие, закрываемое сливной пробкой 2. Проверку уровня масла в колесных редукторах переднего ведущего моста производят при положении пробки 3, нижняя кромка которой устанавливается ниже оси редуктора на 25–30 мм. Для слива масла из редуктора пробка 3 должна находиться в крайнем нижнем положении.

Проверка уровня масла в корпусе главной передачи и колесных редукторов выполняется через 125 ч работы. Замена заливаемого масла ТАП-15В или ТАД-17и (ГОСТ 23652-79) объемом 3,0+0,5 л в редукторах и картере балки ПВМ выполняется через 1000 ч. Очистка сапунов привода ведущего моста предусматривается через 500 ч. Масло ТАП-15В предназначено для смазывания трансмиссий грузовых автомобилей, строительно-дорожной техники и редукторов (прямозубых, спирально-конических и червячных передач, в которых контактные напряжения достигают 200 МПа, а температура масла 130 °С). В средней климатической зоне используется всесезонное масло при температуре до минус 25 °С.



**Рисунок 4 – Принципиальная гидравлическая схема системы подачи масла при смазывании привода переднего ведущего моста и колесного редуктора: 1 – заливная пробка, 2 – сливная пробка, 3 – пробка**

Масло ТАД-17и предназначено для смазывания всех типов передач (в том числе гипоидных) автомобилей и другой мобильной техники, работоспособно

при температуре до минус 30 °С. Верхний предел длительной работоспособности – 140 °С.

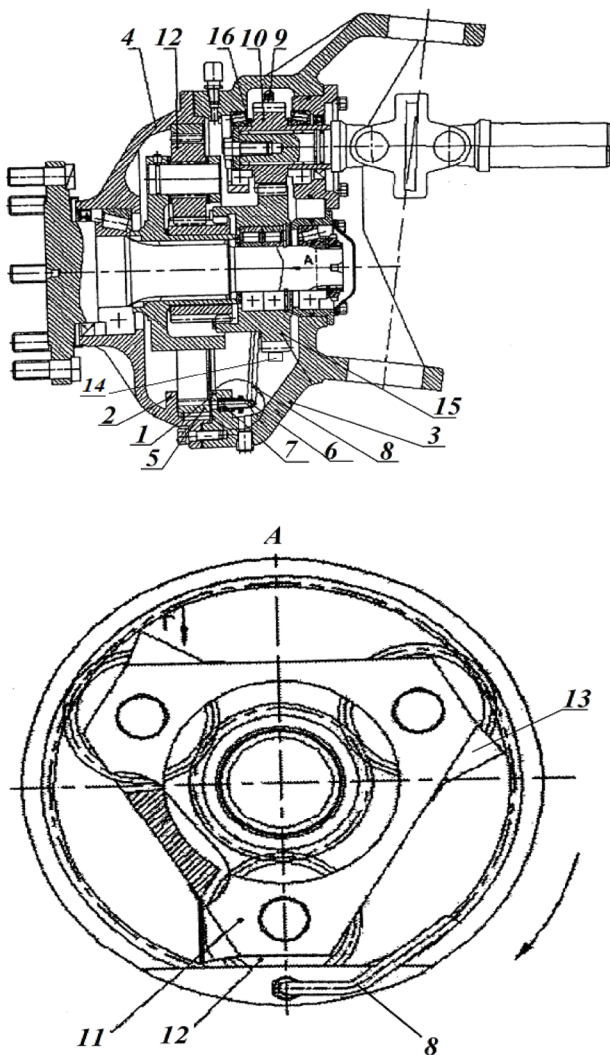
Нами предложен насос с использованием гибкого колеса. Такая конструкция компактна и может быть установлена в редукторе или коробке передач при ее модернизации [3]. В гидроприводах машин и системах смазки широкое распространение получили шестеренные насосы с наружным зацеплением. Их недостатками являются повышенный уровень шума, значительная пульсация рабочей подачи, отсутствие исполнений с регулируемой подачей. Шестеренчатые насосы с внутренним зацеплением, обладая преимуществами насосов с наружным зацеплением, характеризуются высоким объемным коэффициентом полезного действия. С целью снижения материалоемкости и габаритов нами предложена конструкция шестеренного насоса внутреннего зацепления [3] для управления муфтой включения переднего вала отбора мощности трактора.

Для уменьшения материалоемкости конструкции узлов применяют прогрессивные планетарные передачи. Так, известна гидравлическая машина планетарно-роторная, тип РПГ, на 2 000–10 000 см<sup>3</sup> с крутящим моментом до 14 000 Нм с частотой вращения 2–200 мин.<sup>-1</sup>, предназначенная для привода высокомоментных низкооборотных рабочих органов сельскохозяйственных, лесозаготовительных и других машин и механизмов, работающая на моторных минеральных маслах с классом чистоты не менее 16 по ГОСТ 17216-71, с толщиной фильтрации не более 63 мкм по ГОСТ 14066-68, содержание воды в масле – не более 1 % (М-8Г2, М-8В2, М-10Г2, М-10В2 по ГОСТ 8581-78). Температура рабочей жидкости – от 15 до 70 °С. Коробка реверсивная, планетарного типа с торцевым распределением рабочей жидкости. Рабочий орган состоит из 25-зубовой шестерни, направляющей, в которой установлены 26 цилиндрических ролика, выполняющих функцию внутренних зубьев. Указанные детали расположены между двумя крышками, играющими роль распределителей. Рабочая жидкость под давлением поступает в одну из крышек. Через перепускные каналы в направляющей она одновременно поступает в кольцевую канавку другой крышки и через систему распределительных отверстий крышек принуждает шестерню обкатываться по направляющей. Из камер, где объем в это время сокращается, отработанная

жидкость вытесняется зубьями шестерни и по распределительным каналам отводится через вторую крышку в сливную магистраль. При этом необходимо обеспечить подвижность направляющей гидравлической машины для компенсации плоскопараллельного движения с эксцентриситетом не менее 3 мм.

Для упрощения конструкции и использования имеющихся деталей у привода редуктора переднего ведущего моста – зубчатого зацепления, корпуса, составляющих основу качающего узла, нами предложен принципиально новый насос, встроенный в планетарную передачу колесного редуктора переднего ведущего моста для использования в комбинированной системе смазки. На рис. 5 изображена схема планетарно-цилиндрического бортового редуктора трактора с насосом [4]. Планетарно-цилиндрический бортовой редуктор мобильной машины содержит дополнительные стенки 1 и 2 корпуса 3 и крышки 4. Высота стенок превышает высоту внутренних зубьев эпициклической шестерни 5.

В стенке 1 в нижней части на уровне диаметра впадин шестерни 5 выполнено отверстие, сообщающееся с внутренним отверстием закрепленного на ней штуцера 6. С помощью него и уплотнительного конуса 7 крепится трубопровод 8 и, далее проложенный вдоль внутренней стенки корпуса 3, соединен с форсункой смазки 9, которая расположена над шестерней 10. К водилу 11 перед каждым сателлитом 12 прикреплены пластины 13, а контрольная пробка уровня масла 14 расположена на линии касания масла зубьями ведомого зубчатого колеса 15. При передаче крутящего момента на водило 11 оно увлекает за собой сателлиты 12, которые обкатываются по эпициклической шестерне 5. В зоне стенок 1 и 2 корпуса 3 и шестерни 5 пространство между пластиной 13 и вращающимся сателлитом 12 заполняется маслом. Так как набегающий сателлит 12 выдавливает масло в зацеплении при вращении, то оно под некоторым избыточным давлением поступает в штуцер, далее по трубопроводу 8 поднимается к форсунке 9 и смазывает шестерню 10 и подшипник 16. Установка такого насоса позволит уменьшить объем заливаемого масла, повысить долговечность и обеспечить пропорционально скорости движения надежное смазывание подшипников и зацепления цилиндрических передач, сохранить свойства масла на длительный период и уменьшить его расход.



**Рисунок 5 – Планетарно-цилиндрический бортовой редуктор мобильной машины с насосом: 1, 2 – стенки, 3 – корпус редуктора, 4 – крышка, 5, 10, 15 – шестерни, 6 – штуцер, 7 – уплотнительный конус, 8 – трубопровод, 9 – форсунка, 11 – водило, 12 – саттелит, 13 – пластина, 14 – контрольная пробка, 16 – подшипник**

Предложенная конструкция может быть встроена в любой планетарный редуктор.

#### **Заключение**

При конструировании силовых передач приводов мелиоративных машин и агрегируемых с ними тракторов различного тягового класса, для повышения их надежности, долговечности, технического уровня используют гидравлические системы смазки с целью уменьшения интенсивности изнашивания, снижения сил трения, отвода от трущихся поверхностей теплоты и продуктов изнашивания, а также для предохранения деталей от коррозии. Выполненные экспериментальные исследования показали зависимость температуры масла и деталей системы смазки от объема смазочного материала и наклона корпуса трансмиссии машины. Приведены основные схемы системы смазки узлов трансмиссии и редукторов. Для снижения материалоемкости конструкции и уменьшения объема заливаемого масла в привод предложены перспективные инновационные схемы систем смазки редукторов, основанные на их встраивании в привод и использовании уже имеющихся в приводах узлов и деталей.

#### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Курсовое проектирование деталей машин : учеб. пособие / В. Н. Кудрявцев [и др.] ; под общ. ред. В. Н. Кудрявцева. – Л. : Машиностроение, 1984. – 399 с.
2. БЕЛАРУС-3022 и его модификации. 3022В-0000010РЭ : рук. по эксплуатации. – Минск : Минский тракторный завод, 2005. – 298 с.
3. Бобровник, А. И. Совершенствование процессов внесения удобрений на основе рациональных приводов машин : дис. ... д-ра техн. наук / А. И. Бобровник. – Минск, 1999. – 409 л.
4. Планетарно-цилиндрический бортовой редуктор трактора : пат. ВУ 21235 / А. И. Бобровник, И. Г. Рубель, Е. А. Горбенюк. – Опубл. 08.30.2017.

Поступила 20.11.2018