

ГОРНЫЕ МАШИНЫ MINING MACHINES

Научная статья

УДК 622.232.72

DOI: 10.26730/1816-4528-2025-4-22-36

Косарев Иван Васильевич*, Мезников Артур Владимирович, Косарев Василий Васильевич,
Андреев Георгий Владимирович, Чайков Евгений Михайлович

ГБУ «ДОНУГЛЕМАШ»

* для корреспонденции: donuglemash@mail.ru

ПРИНУДИТЕЛЬНАЯ ЦИРКУЛЯЦИОННАЯ СИСТЕМА СМАЗКИ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ ТРАНСМИССИЙ ОЧИСТНОГО КОМБАЙНА КДК 1000



Информация о статье

Поступила:

20 мая 2025 г.

Одобрена после
рецензирования:

30 июня 2025 г.

Принята к печати:

01 августа 2025 г.

Опубликована:

28 августа 2025 г.

Ключевые слова:

очистной комбайн, планетарно-цилиндрический редуктор, блок резания, водовоздушный эжектор, циркуляционная система смазки, трансмиссионное легированное масло, противозадирная присадка, вязкость смазочной жидкости

Аннотация.

В статье обоснована необходимость поиска новых путей существенного повышения ресурса при создании импортозамещающего очистного комбайна КДК 1000 и прежде всего его высоконагруженных трансмиссий блоков резания и подачи. Представлены технические характеристики, параметры и конструктивные особенности редукторов этих блоков как ресурсоопределяющих составных частей комбайна. Отражена специфика эксплуатации редукторов комбайна в шахтных условиях и выполнен анализ факторов, влияющих на ресурс работы редукторов и комбайна в целом. Обоснована необходимость перехода на принудительную циркуляционную систему смазки как один из трех главных факторов, обеспечивающих существенный рост ресурса и надежности редукторов. Отражены основные критерии, влияющие на долговечность подшипниковых узлов и зубчатых передач, представлены методики их расчета и оценки эффективности смазки. Обоснована необходимость принудительного водяного и принципиально нового водовоздушного охлаждения редукторов и подаваемой в них смазки, а также представлены новые детально проработанные технические решения в реализации этого направления повышения ресурса и надежности высоконагруженных трансмиссий горных машин. Отражены некоторые результаты стендовых испытаний легированных трансмиссионных масел в составе планетарно-цилиндрических редукторов блоков резания очистного комбайна УКД200-400. Представлен ряд запатентованных и патентуемых технических решений, позволяющих повысить эффективность наиболее прогрессивной принудительной циркуляционной системы смазки, ее принципиальная гидравлическая схема, и произведен предварительный расчет производительности насосной установки для достаточного отбора тепла от трансмиссий. Представлены инновационные решения по оснащению трансмиссий очистного комбайна и систем их смазки средствами защиты от грязи, пыли и агрессивной влаги внешней среды очистного забоя. Намечен дальнейший комплекс мер по совершенствованию трансмиссий и систем их смазки для повышения ресурса и надежности очистных комбайнов.

Для цитирования: Косарев И.В., Мезников А.В., Косарев В.В., Андреев Г.В., Чайков Е.М. Принудительная циркуляционная система смазки высоконагруженных трансмиссий очистного комбайна КДК 1000 // Горное оборудование и электромеханика. 2025. № 4 (180). С. 22-36. DOI: 10.26730/1816-4528-2025-4-22-36, EDN: RYJFIZ

Сегодня горная отрасль России характеризуется
высоким износом основных фондов, воспроизвод-

ство которых в последние десятилетия проводилось в основном за счет интенсивного использования импортного оборудования.

Так, из общего парка горной техники, эксплуатируемой на отечественных горнодобывающих предприятиях, 85% – зарубежного производства, а удельный вес основных позиций подземной угледобывающей техники (механизированные крепи, очистные комбайны) достиг 100 %.

С учетом мирового лидерства по запасам полезных ископаемых и глобальных изменений, происходящих в мире, все в большей мере нарастает необходимость локализации производства горношахтного оборудования в РФ.

Безусловно, создаваемая импортозамещающая горная техника наряду с формированием технологического суверенитета страны должна обеспечивать экономическую результативность горнодобы-

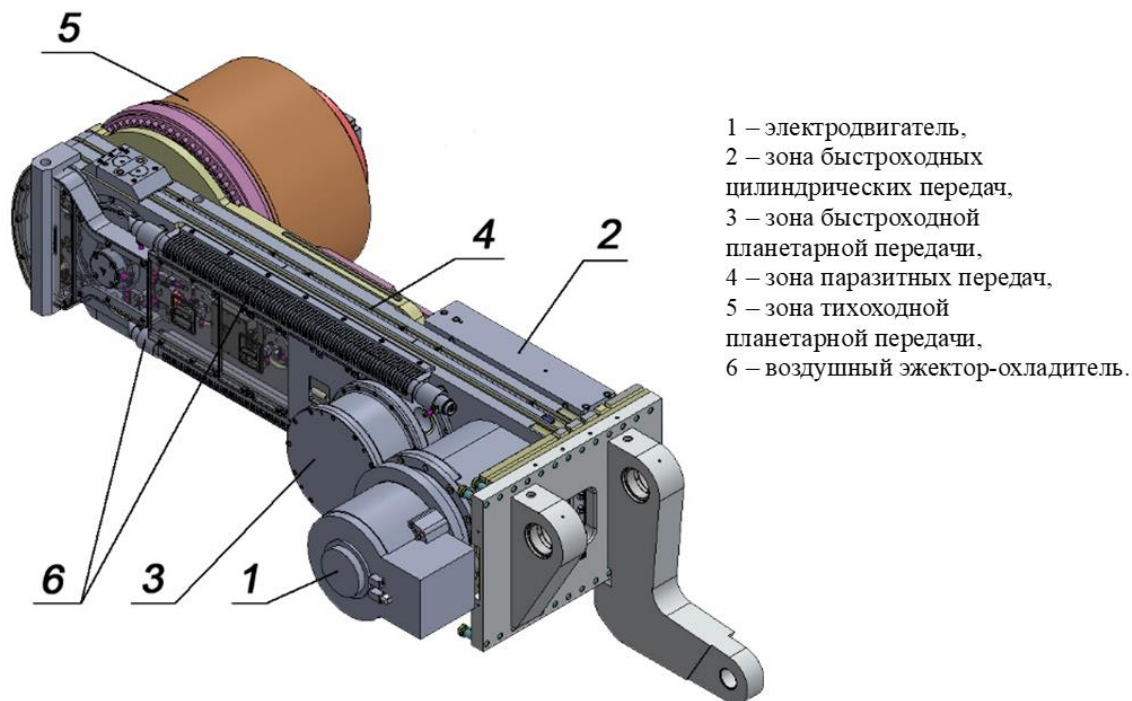


Рис. 1. Редуктор со встроенным электродвигателем блока резания комбайна КДК1000
Fig. 1. Gearbox with integrated electric motor of the KDK1000 combine cutting unit

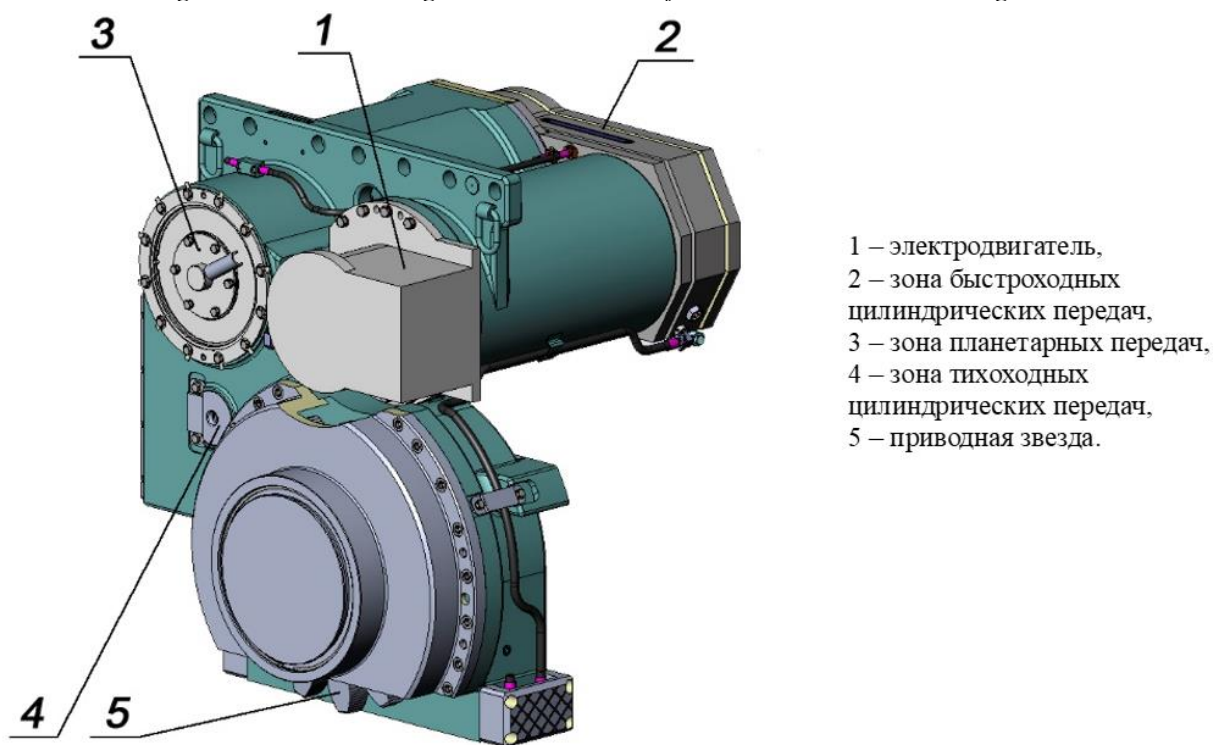


Рис. 2. Редуктор со встроенным электродвигателем и приводной звездой блока подачи комбайна КДК1000
Fig. 2. Gearbox with integrated electric motor and drive star of the KDK1000 combine feed unit

вающих предприятий, прежде всего за счет эффективности функционирования, надежности и ресурса, не уступающих зарубежным аналогам. Важнейшей задачей на пути обеспечения высокого уровня надежности и долговечности горных машин является рациональный выбор систем смазки и смазочных материалов как главного фактора защиты от износа элементов трансмиссий и снижения нагрузок в силовых узлах изделий.

Очистной комбайн КДК 1000 создается как импортозамещающий аналог взамен лучших зарубежных комбайнов фирм Eickhoff (Германия), JOY (США), Famur (Польша), T-Machinery (Чехия) для высокопродуктивной отработки угольных пластов мощностью 2,5 – 5,5 м на шахтах РФ. Нагрузки на добычные участки, оснащенные этими комбайнами, достигают 1 – 1,5 млн т в месяц, а срок службы комбайнов до капитального ремонта превышает 10 лет или 30-50 тысяч часов машинного времени при обеспечении штатных условий эксплуатации и технического обслуживания потребителем [1].

Наиболее нагруженными составными частями комбайна КДК 1000, обеспечивающими его ресурс до капитального ремонта, являются блоки резания и подачи (Рис. 1 и 2), планетарно-цилиндрические редукторы которых во многом и определяют надежность и заданный ресурс комбайна [2].

Редукторы комбайна КДК 1000 представляют из себя жесткие и прочные сварные корпуса с встроенными в них электродвигателями и трансмиссиями, на выходных валах которых предусмотрены места для жесткого крепления рабочих органов (режущих шнеков и приводных звезд). Редукторы выполнены с параллельным расположением всех осей вращения электродвигателей, валов зубчатых передач и рабочих органов, исключаям необходимость в конических передачах, существенно снижающих ресурс и надежность трансмиссий. При обеспечении достаточно высоких передаточных чисел ($i = 60$ у блока резания и $i = 217,6$ у блока подачи) редукторы имеют короткие кинематические цепи с минимальным количеством силовых

элементов на базе прямозубых цилиндрических и двух планетарных передач в каждом редукторе [3].

В представленных редукторах применены зубчатые передачи с модулем $m = 5 - 20$ мм, степень точности изготовления 6 – 7 с параметрами шероховатости 1,25 – 2,5 мкм. Учитывая высокую передаваемую мощность (рост параметра в 1,6 – 2,2 раза в сравнении с существующими самыми энерговооруженными отечественными аналогами), редукторы со встроенными в них электродвигателями оснащены системами водяного и водо-воздушного охлаждения, а также системой принудительной циркуляционной смазки. Корпуса редукторов изготовлены из высокопрочной стали с пределом текучести 750 МПа, не имеют характерных для отечественных и зарубежных аналогов внутренних перегородок с уплотнительными узлами, отделяющими обособленные друг от друга камеры со своей картерной смазкой, что неизбежно приводит к дополнительным отборам мощности и нагревам смазочной жидкости.

Все водоподводящие и маслоподводящие магистрали, проходящие к шнековым частям через блоки резания, выполнены в виде каналов в корпусах их редукторов с целью дополнительного отвода тепла для нормализации теплового режима смазки высоконагруженных трансмиссий комбайна.

Характеристики редукторов блоков резания и подачи очистного комбайна КДК 1000 представлены в Таблице 1.

Известно, что повышение ресурса редукторов достигается совершенством конструкции, улучшением механических свойств материалов, из которых они изготавливаются, совершенствованием технологии их производства, прежде всего точности и чистоты элементов трансмиссии, и обеспечением оптимальной системы смазки под условия эксплуатации. Именно смазка способна в значительной мере предотвратить износ зубчатых передач, являющийся основной причиной выхода из строя редукторов.

Существует следующая классификация повре-

Таблица 1. Характеристики редукторов блоков резания и подачи очистного комбайна КДК1000.
Table 1. Characteristics of gearboxes for cutting and feeding units of the KDK1000 combine.

Наименование показателя	Редукторы	
	Блок резания	Блок подачи
1 Передаваемая мощность, кВт	550	100
2 Крутящий момент, вход/выход, Н/м	6745 / 404700	976 / 212378
3 Частота вращения, вход/выход, об/мин	1482 / 24,7	980 / 4,5
4 Передаточное число	60	217,6
5 Тип редуктора	планетарно-цилиндрический	планетарно-цилиндрический
6 Тип системы смазки	Циркуляционная	
7 Габариты, мм	750 x 1835 x 3545	1400 x 1460 x 1475
8 Масса, кг	14882	4765
9 КПД	0,825	0,859
10 Расход масла в системе смазки, л/мин	8	4
11 Объем масла в системе смазки, л	130	15
12 Емкость масляной ванны картера, л	14,6	14,3
13 Расход воды в системе охлаждения, л/мин	40 (210)	20
14 Расход воды в системе охлаждения смазочной емкости, л/мин	20	20

ждений зубьев, ухудшающих эксплуатационные показатели зубчатых передач и редукторов, существенно сокращая сроки их службы [4]:

- разрушение под воздействием изгибных напряжений;
- выкрашивание рабочих поверхностей зубьев (питтинг);
- схватывание (заедание);
- механический износ;
- пластическая деформация поверхностного слоя рабочих поверхностей зубьев;
- химический износ.

Из всех видов повреждений только первый мало связан с характером смазки, а все остальные повреждения представляют собой разные виды износа, непосредственно связанного с характером смазки. Для горных машин и прежде всего очистных комбайнов, работающих в запыленно загрязненной углеспородной пылью среде, механический износ зубчатых передач, подшипников и других элементов редукторов является наиболее опасным, а его устранение становится первоочередным при разработке высокоресурсного комбайна КДК 1000.

Механический износ – истирание рабочих поверхностей зубьев в результате царапающего, режущего и пластического деформирования твердыми частицами. Деформирующие частицы могут быть свободными или являться частью поверхности сопряженного зуба. В первом случае происходит абразивный износ, во втором – износ притирочный из-за зацепления неровностей на поверхности зубьев [4].

Абразивные частицы в атмосфере добычного забоя – это частицы угольной и породной пыли, в т. ч. кварца, твердость которых существенно выше твердости поверхности зубьев, даже закаленных с цементацией. Исследованиями отраслевых лабораторий надежности установлено, что наличие в смазке 1% пыли антрацита вызывает повышение интенсивности износа деталей редуктора режущей части очистного комбайна в 2-3 раза, а наличие 2% пыли песчаника – более чем в 30 раз [5].

Зубчатые передачи, работающие в запыленной среде в редукторах горных машин, прежде всего очистных и проходческих комбайнов, не могут быть полностью изолированы от шахтной атмосферы и от попадания абразивных частиц между рабочими поверхностями зубчатых передач и подшипников даже при наличии уплотнений, воздушных фильтров (сапунов) и т. д. Объясняется это тем, что мелкие частицы (кварцевые, например, до размера 30 мкм) способны долгое время витать в воздухе, не оседая, и поэтому проникают через фильтры любой тонкости очистки либо микроскопические щели в уплотнительных узлах при остывании редуктора. Постепенно внутренний объем картеров и масла, особенно при картерной смазке, насыщаются абразивными частицами. Количество их в осадочной части масла редукторов очистных комбайнов составляет в среднем 8,5%, в редукторах забойных скребковых конвейеров около 4-6%. К абразивному действию попавших извне частиц добавляется абразивное действие продуктов износа.

Продукты износа зубьев, представляющие собой наклепанные частицы и окислы железа, обладают большей твердостью, чем исходный металл. Чем интенсивнее идет износ, тем большие размеры имеют продукты износа.

Попадая между смазанными зубьями, частицы разрывают смазочную пленку и действуют так же, как и при сухом трении, но только в том случае, если их размер превышает толщину слоя смазки, разделяющего зубья. Чем толще смазочный слой, тем меньше интенсивность абразивного износа – большее количество абразивных частиц будет проходить зону зацепления, не повреждая зубья. Обычно в обильно смазываемых передачах с хорошо подобранной охлажденной смазкой с достаточной вязкостью частицы размером в десятки доли микрона абразивного изнашивания не вызывают.

Вязкость минерального масла очень сильно зависит от температуры. Так, изменение температуры минеральных масел от 40° до 100°С приводит к изменению вязкости в 12-15 раз, а масла, легированные специальными присадками, имеют снижение параметра в этом же диапазоне в 5-8 раз. Поэтому в условиях гидродинамического трения из всех возможных изменений режима работы изменение температуры сильнее всего сказывается на состоянии смазочного слоя, следовательно, и на износе зубчатых передач.

Очевидно, что при создании системы смазки высоконагруженных трансмиссий очистного комбайна для 2-3 кратного роста их ресурса до капитального ремонта необходима система смазки с обеспечением существенного охлаждения масла и его фильтрации с постоянным удалением отфильтрованных примесей, прежде всего абразивных частиц, включая продукты износа самих передач и подшипников, из картеров редукторов. Кроме того, необходима надежная защита от попадания в картеры редукторов углеспородной пыли и кварцевых частиц, а также влаги из шахтной атмосферы.

В институте «ДОНУГЛЕМАШ» была создана научно-исследовательская группа специалистов по анализу условий эксплуатации смазочных материалов в современных очистных и проходческих комбайнах для детального изучения спектра свойств современных минеральных, синтетических и полусинтетических смазок, доступных для широкого применения в шахтных условиях. Главной задачей группы была отработка специфических требований совместно со специалистами машзаводов, угольных шахт и производителей смазки по улучшению эксплуатационных свойств смазочных жидкостей, а также разработка рекомендаций по совершенствованию смазочных систем горных комбайнов и методики выбора смазочных материалов с учетом специфики конструкции и условий работы горной техники.

Так, анализ тепловых режимов работы редукторов очистных комбайнов [6] выявил, что нагрев масла в камерах скоростных передач редукторов, работающих в штатном режиме под нагрузкой, достигает в среднем 65-80°С выше температуры окружающей среды. Это значит, что в лавах глубоко-

ких шахт, где температура воздуха равна 25-28°C, температура масла в редукторе может достигать 100-105°C.

Была разработана программа и методика испытания ряда масел (Mobilgear 600 XP 320, High-rate XP 220, Редуктол I-C-D-220) в составе очистного комбайна УКД200-400 в условиях ЗАО «Горловский машиностроитель». В процессе испытаний был выполнен анализ проб масел, проведенных лабораторией ЗАО «ГМС». Определялись показатели вязкости, температуры вспышки, содержание механических примесей, значений кислотного числа и динамика их изменений от разных

факторов.

Так, содержание механических примесей в процессе испытаний в картере редукторов возрастало практически в линейной зависимости и в среднем составляло 0,35% объема масла в картере за месяц непрерывной работы. Заявленная кинематическая вязкость при 40 °С (220 мм²/с) после двух месяцев непрерывных испытаний у масел Highrate XP 220 и Редуктол I-C-D-220 снизилась до 146 мм²/с или в 1,5 раза, и стабилизировалась на этом показателе.

С целью оценки эффективности применяемого смазочного материала были произведены температурные замеры и выполнен расчет критериев, ха-

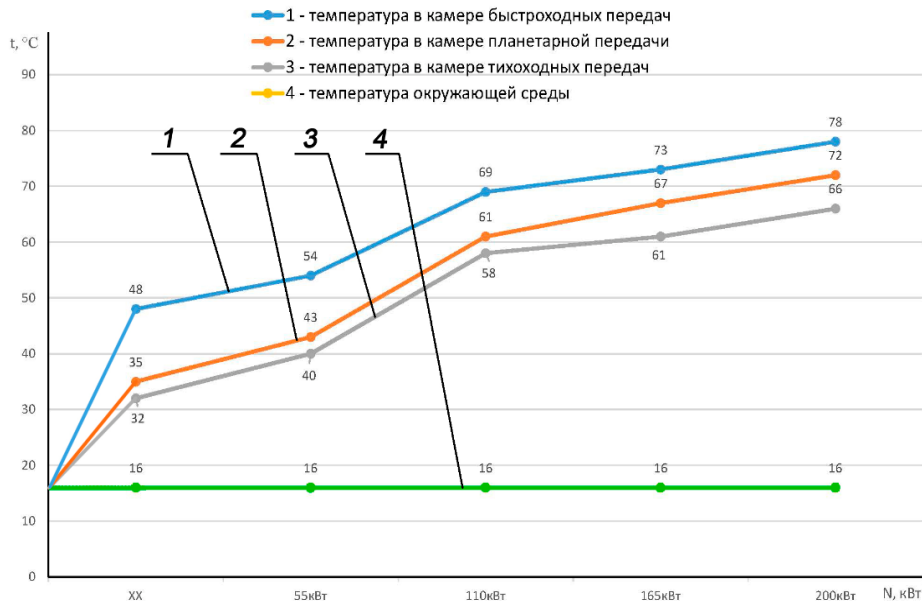


Рис. 3. График зависимости температуры нагрева от передаваемой мощности в камерах редуктора блока резания комбайна УКД200-400

Fig. 3. Graph of the dependence of the heating temperature on the transmitted power in the reduction chambers of the cutting unit of the combine UKD200-400

Таблица 2 – Результаты расчета коэффициента вязкости.
Table 2 – The results of the calculation of the viscosity coefficient.

Номер вала/оси	Обозначение подшипника	Средний диаметр подшипника качения D_{pw} , мм	Частота вращения n , об/мин	Рабочая температура t , °C	Требуемая вязкость смазки ν_1 , мм ² /с	Фактическая вязкость смазки ν , сСт (мм ² /с)	Коэффициент вязкости, k
Камера быстроходных передач, смазка Mobilgear 600 XP 320							
I	NJ220	140	1476	69	9,8	72,5	7,33
I	6220M	140	1476		9,8		7,33
II	22217E	117,5	917		14,4		5,02
III	NJ217	117,5	653		19,1		3,79
III	NJ221	147,5	653		17,0		4,24
III	1000824Л	135	653		17,8		4,06
Камера планетарной передачи, смазка Mobilgear 600 XP 320							
III	6038M	240	653	61	13,3	103	7,69
IV	22308E	65	415		37,4		2,75
V	61956MA	330	127		44,4		2,32
Камера тихоходных передач, смазка Mobilgear 600 XP 320							
V	22320E	157,5	127	58	64,3	107,8	1,67
VI, VII, VIII	22320E	157,5	78		96,4		1,11

рактизирующих эффективность применяемого смазочного материала, на примере редукторов режущей части очистного комбайна УКД200-400 [7].

Оценка эффективности смазки подшипников

Согласно стандарту ISO 281:2007 [6] в качестве критерия для оценки эффективности смазки подшипника применяется коэффициент вязкости k , который представляет собой отношение фактической вязкости ν и номинальной (требуемой) вязкости ν_1 , необходимой для эффективного смазывания

$$k = \frac{\nu}{\nu_1} \quad (1)$$

где: ν – фактическая вязкость смазочного материала при рабочей температуре, мм²/с;

ν_1 – номинальная (требуемая) вязкость, зависящая от среднего диаметра подшипника и частоты вращения, мм²/с.

Определение номинальной вязкости ν_1 также регламентируется данным стандартом:

$$\nu_1 = 45000 \cdot n^{-0,83} \cdot D_{pw}^{-0,5} \text{ для } n < 1000 \quad (2)$$

$$\nu_1 = 4500 \cdot n^{-0,5} \cdot D_{pw}^{-0,5} \text{ для } n \geq 1000 \quad (3)$$

где:

n – частота вращения подшипника, об/мин;

D_{pw} – средний диаметр подшипника качения, мм.

Значения рабочей температуры в камерах редукторов получены по результатам произведенных замеров при их приемо-сдаточных испытаниях на заводе-изготовителе (Рис. 3). В качестве смазки всех узлов трения редуктора использовалось минеральное масло Mobilgear 600 XP 320 с кинематической вязкостью $\nu_{40} = 320 \text{ мм}^2/\text{с}$ и $\nu_{100} = 24,1 \text{ мм}^2/\text{с}$, при температурах 40°C и 100°C соответственно. Для сравнения у масла ТАД-17И аналогичные величины составляют $\nu_{40} \approx 180 \text{ мм}^2/\text{с}$ и $\nu_{100} = 17,5 \text{ мм}^2/\text{с}$. Результаты расчета коэффициента вязкости согласно формул (1), (2), (3) приведены в Таблице 2.

Очевидно, что при значениях $k < 1$ имеет место смешанный либо граничный режим трения. При

$k < 1$ компания SKF рекомендует применение масла с антизадирными присадками. При $k < 0,4$ использование антизадирных присадок становится обязательным. При $k > 1$ реализуется наиболее предпочтительный гидродинамический режим трения.

Оценки эффективности смазки зубчатых передач

Согласно стандарту ОСТ 12.14.191-81 [9] критерием для оценки эффективности смазки зубчатых передач является критерий долговечности λ .

В общем случае:

$$\lambda = \frac{h_{\min}}{\sqrt{Ra_1^2 + Ra_2^2}} \quad (4)$$

где: $h_{\min}$ – минимальная толщина смазочного слоя в зоне сужения зазора между трущимися деталями, мкм;

Ra_1 и Ra_2 – параметры шероховатости контактирующих деталей, мкм.

Как видно из формулы, шероховатость контактирующих деталей может кардинально повлиять на результаты расчета. При этом очевидно, что шероховатость рабочих поверхностей зубчатых пар до и после приработки могут существенно отличаться. Для адекватной оценки были произведены замеры приработанных поверхностей зубчатых колес на заводе-изготовителе. Полученная таким образом величина шероховатости составила $Ra \approx 0,6 \text{ мкм}$ и была использована в расчете.

Существует ряд формул для определения $h_{\min}$ [4], [9], [10], [11].

В соответствии с ОСТ 12.14.191-81:

$$h_{\min} = \frac{1,65 \cdot \eta^{0,7} \cdot \alpha^{0,7} \cdot \nu^{0,7} \cdot R^{0,3} \cdot E^{0,18}}{P_0^{0,18}} \quad (5)$$

где:

η – динамическая вязкость масла при рабочей температуре смазываемых поверхностей, Н·с/м²;

α – пьезокоэффициент вязкости масла, характеризующий зависимость вязкости от давления, м²/Н;

Таблица 3 – Результаты расчета минимальной толщины смазочной пленки $h_{\min}$ и критерия долговечности λ .
Table 3 shows the results of calculating the minimum thickness of the lubricating film $h_{\min}$ and the durability criterion λ .

Номер вала/оси	Частота вращения n, об/мин	Средняя скорость υ, м/с	Привед. рад. крив. зубьев R, м	Давление в контакте P _о , Н/м ²	Толщина смазочной пленки h _{min} , мкм	Критерий долговечности λ>1
Камера быстроходных передач (t = 69 °С, η = 0,065 Н*с/м ² , α = 1,84*10 ⁻⁸ м ² /Н)						
I	1476	10,93	0,0174	2,22·10 ⁹	3,38	3,98
II	917					
III	653	10,89	0,0253	1,78·10 ⁹	3,92	4,63
Камера планетарной передачи (t = 61 °С, η = 0,093 Н*с/м ² , α = 1,93*10 ⁻⁸ м ² /Н)						
III	653	3,01	0,0119	2,36·10 ⁹	1,61	1,89
IV	415					
IV	335	1,21	0,0493	1,16·10 ⁹	1,48	1,74
-	0					
Камера тихоходных передач (t = 58 °С, η = 0,099 Н*с/м ² , α = 1,96*10 ⁻⁸ м ² /Н)						
V	127	1,34	0,0277	3,22·10 ⁹	13,97	1,65
VI	78					
VII		1,34	0,0385	2,67·10 ⁹	15,93	1,87
VIII		1,34	0,0360	2,66·10 ⁹	15,59	1,84

v – средняя скорость движения смазываемых поверхностей деталей, м/с;
 R – приведенный радиус кривизны смазываемых поверхностей в контакте, м;
 E – приведенный модуль упругости тел качения, Н/м²;
 P_0 – максимальное давление в контакте по Герцу, Н/м².

Анализируя формулу, можно заметить, что наибольшее влияние на формирование толщины смазочной пленки оказывают параметры смазочного материала и скорость движения смазываемых поверхностей, второй по значимости фактор – это радиус кривизны поверхностей, в меньшей степени формирование толщины смазочной пленки зависит от нагрузки и свойств материала контактирующих деталей. Следует отметить, что малая зависимость толщины масляного слоя от нагрузки объясняется тем, что с повышением нагрузки увеличивается вязкость масла и упругая деформация (следовательно, и радиус кривизны) контактирующих деталей – оба этих явления благоприятствуют процессу смазки.

Рабочая температура масла получена в процессе замеров, выполненных в условиях ЗАО «ГМС» во время проведения прямо-сдаточных испытаний редукторов очистного комбайна УКД200-400 зав. №1 (Рис. 3).

Результаты расчета минимальной толщины смазочной пленки и критерия долговечности для зубчатых передач режущей части очистного комбайна УКД200-400 приведены в Таблице 3.

Учитывая, что для узла редуктора, наиболее требовательного к вязкости масла, должны выполняться условия: $\lambda \geq 1$ и $k \geq 1$, была определена оптимальная вязкость масла в каждой камере редуктора. Результаты отражены на графике (Рис. 4) зависимости кинематической вязкости масла от температуры нагрева для номенклатуры масел серии Mobilgear 600 XP. На Рис. 4 кривая, обозначенная пунктиром и позицией 5, соответствует маслу Mobilgear 600 XP 320, применяемому в настоящее время в редукторе комбайна УКД200-500 (продвинутая версия комбайна УКД200-400). Точками указаны оптимальные значения вязкости масла для каждой камеры редуктора. Как видно из Рис. 4, для камеры быстроходных передач достаточно иметь масло класса ISO VG 68, в то время как в камере тихоходных передач достаточно иметь только более вязкое масло данной серии – ISO VG 320. Безусловно, есть и более вязкие масла: классификация ISO VG предусматривает классы вязкости масла вплоть до ISO VG 1500 ($v_{40}=1500$ сСт), однако существует негативная сторона применения вязких масел – перегрев трансмиссии и ухудшение работы подшипников качения вплоть до их поломок.

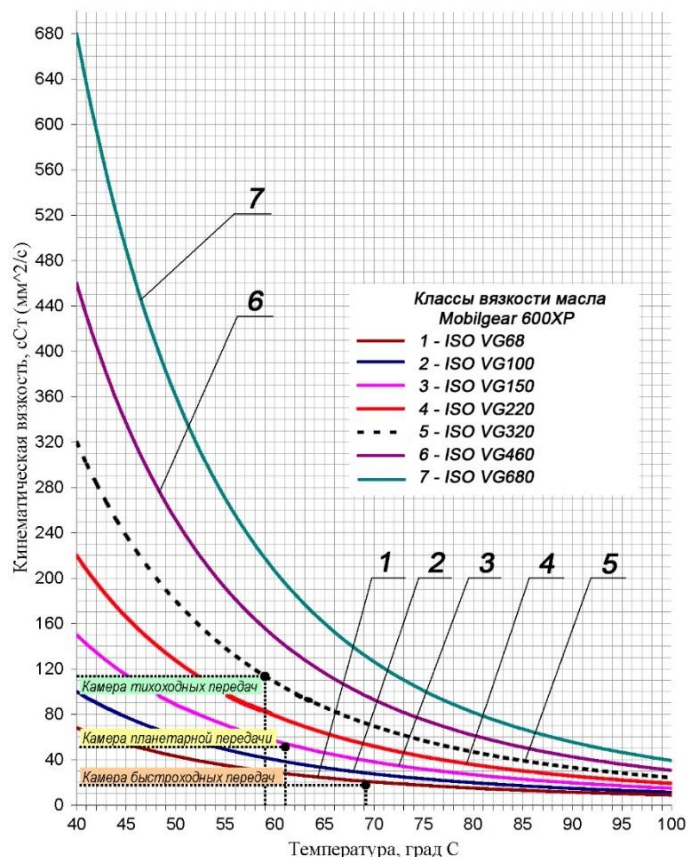


Рис. 4. Зависимость кинематической вязкости от температуры нагрева для номенклатуры масел серии Mobilgear 600 XP при испытаниях в очистном комбайне УКД200-400

Fig. 4. Dependence of kinematic viscosity on heating temperature for the range of oils of the Mobilgear 600 XP series during tests in the UKD200-400 cleaning combine

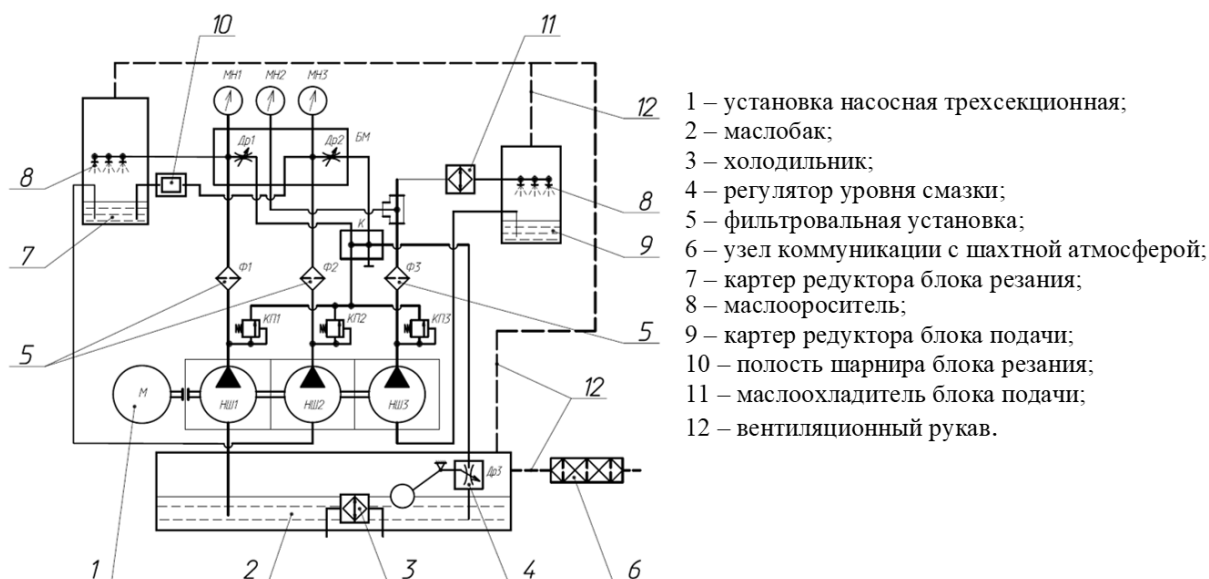


Рис. 5. Схема гидравлическая принципиальная системы смазки очистного комбайна КДК1000
 Fig. 5. Hydraulic schematic diagram of the lubrication system of the KDK1000 cleaning combine

В результате анализа температурного режима, а также режима смазки трансмиссионных деталей и узлов на примере редуктора режущей части очистного комбайна УКД200-400 зав. № 1 был достигнут оптимальный режим трения. В связи с этим проведены необходимые расчеты и произведен выбор смазочных материалов, технические характеристики которых позволили обеспечить оптимальный режим трения при работе подшипниковых узлов и зубчатых передач очистных комбайнов УКД200-400 и УКД200-500. Ресурс редукторов этих комбайнов в сравнении с аналогами повышен в два раза. Дальнейшая оптимизация режима трения предусматривает переход на принудительную циркуляционную систему смазки для обеспечения струйной подачи охлажденного и очищенного масла с улучшенными эксплуатационными характеристиками, что позволит существенно уменьшить износ рабочих поверхностей, сократить потери на трение и снизить рабочую температуру внутри редуктора.

Система смазки комбайна КДК 1000 состоит из двух автономных одинаковых частей. Каждая часть системы (Рис. 5) включает трехсекционную насосную установку, маслобак со встроенным холодильником и регулятором уровня жидкости, фильтровальные установки, узел коммуникации с шахтной атмосферой, картер редуктора поворотного блока резания с маслооросителями, картер блока подачи с маслооросителями, полость шарнира блока резания, маслоохладитель блока подачи и вентиляционных рукавов, объединяющих воздушные полости редукторов, маслобак с узлом коммуникации с шахтной атмосферой [12].

Система смазки работает следующим образом. При включении поворотных блоков резания и подачи воды в систему пылеподавления и охлаждения включаются в работу трехсекционные насосные установки системы смазки. Насосные секции НШ1 отбирают охлажденную смазочную жидкость из

маслобаков и, прогоняя ее через фильтровальные установки Ф1, подают в маслооросители картера редукторов блоков резания, обеспечивая струйную смазку зубчатых передач и подшипников очищенным, охлажденным и «отдохнувшим» маслом с гарантированной подачей в наиболее нагруженные узлы трансмиссии.

Насосные секции НШ2 отбирают нагретое масло из ванн картеров поворотных редукторов блоков резания и пропускают через фильтровальные установки Ф2, отделяя от возможных примесей, в т. ч. продуктов износа элементов трансмиссии, направляют очищенное масло в маслобаки для охлаждения и отстоя. Часть жидкости из этих потоков за счет подпора давления дросселями Др2 подается в полости силовых шарниров поворотных блоков резания.

Насосные секции НШ3 отбирают нагретую рабочую жидкость из масляной ванны картеров редукторов блоков подачи, пропускают через фильтровальные установки Ф3, маслоохладители блоков подачи и подают в маслооросители картера редукторов блоков подачи, обеспечивая эффективную струйную смазку зубчатых передач и подшипников в наиболее нагруженных узлах трансмиссии редукторов блоков подачи.

Минимально необходимое для отвода тепла количество масла в системе смазки должно быть [4]:

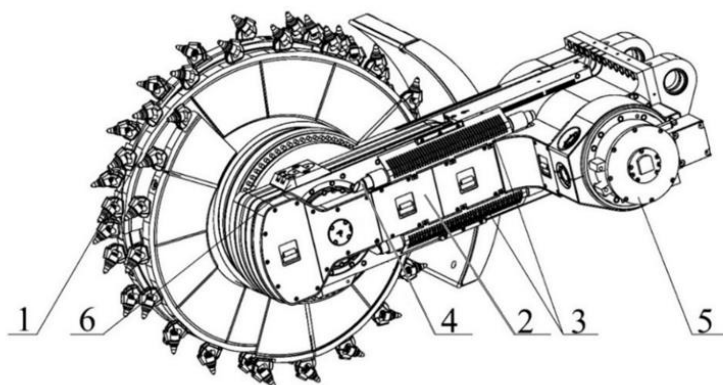
$$M = \frac{Q}{c \cdot v \cdot \Delta t \cdot k}, \text{ л,}$$

где Q – количество отводимого тепла;
 c – удельная теплоемкость масла, Дж/кг·град. (1680);
 v – плотность масла, г/см³;
 Δt – допустимый нагрев масла в редукторе, град;
 k – коэффициент использования масла, ориентировочно равный 0,5.

Количество отводимого тепла считается равным теряемой в редукторе мощности,

$$Q = 3600 \cdot N \cdot (1 - \eta), \text{ Дж}$$

где N – подводимая к редуктору мощность, кВт;



- 1 – шнек с высоконапорным орошением и пылевзрывозащитой,
- 2 – редуктор с охладителем,
- 3 – водовоздушный эжектор-охладитель,
- 4 – продувочный патрубок,
- 5 – электродвигатель с водяным охлаждением,
- 6 – блок внешнего орошения.

Рис. 6. Блок резания комбайна КДК1000 с эжекторами-охладителями
Fig. 6. KDK1000 combine cutting unit with cooling ejector

η – коэффициент полезного действия редуктора.

Исходя из КПД редуктора блока резания – 0,825 и КПД редуктора блока подачи – 0,859, выделяемое ими тепло составит:

$$Q_p = 3600 \cdot 550 \cdot (1 - 0,825) = 246500, \text{ Дж};$$

$$Q_n = 3600 \cdot 100 \cdot (1 - 0,859) = 50760, \text{ Дж};$$

Тогда,

$$M_{\text{рез.}} = \frac{246500}{1680 \cdot 0,91 \cdot 10^{-0,5}} = 32,2 \text{ л};$$

$$M_{\text{под.}} = \frac{50760}{1680 \cdot 0,91 \cdot 10^{-0,5}} = 6,6 \text{ л}$$

Минимальный расход масла должен быть по предварительным расчетам не менее 10 л/мин в системах смазки редукторов блоков резания и не менее 2 л/мин в системах блоков подачи. Окончательный тепловой расчет редукторов очистного комбайна будет выполнен на заключительной стадии проекта после выявления всех параметров редукторов, маслоохладительных систем, окончательного выбора типа смазки в соответствии с РТМ 12.44.028-79.

Для защиты от попадания примесей, в т. ч. абразивных частиц и агрессивной влаги, воздушные полости редукторов и маслобаков каждой части системы смазки объединены с узлами коммуникации с шахтной атмосферой. Эти новые для комбайнов узлы оснащены воздушными фильтрами большой пропускной способности, грязеемкости и высокой тонкости фильтрации, а также фильтрами влагоотделителями.

Для создания условий, обеспечивающих умеренный нагрев масла, а следовательно, его высокую вязкость и хорошие смазочные свойства, а также гарантированно исключая возможность попадания абразивных материалов и влаги извне во внутреннюю полость редукторов очистного комбайна КДК 1000 разработан целый ряд новых конструкторских решений, запатентованных или проходящих в настоящее время патентование.

В статье представлены некоторые из них.

1. Эжекторное охлаждение воздушно-масляной смеси картера редуктора блока резания.

На корпусе редуктора поворотного блока резания (Рис. 6) размещены водовоздушные эжекторы-охладители, состоящие из двух цилиндрических оболочек, встроенных одна в другую. Во внутренней оболочке-продувочном патрубке установлены

пневмогидрооросители, на которые от системы пылеподавления и пылевзрывозащиты подается вода под давлением 10 МПа. Создаваемый пневмогидрооросителями факел водовоздушной смеси подается в верхнюю и нижнюю зону каждого шнека и подавляет образование искр, а также снижает концентрацию метана и пыли, предотвращая взрывы пылегазовой среды вокруг шнека. Кроме того, на начальном этапе формирования факела струи водовоздушного аэрозоля, проходя на большой скорости через продувочный патрубок эжектора, весьма эффективно охлаждают сам патрубок, который является внутренним радиатором кольцевого канала для прохода масловоздушной смеси, отбираемой из картера редуктора блока резания. Этот поток масловоздушной смеси обеспечивается маслооросителями, которые за счет эжекторного эффекта отбирают тонкодисперсную масловоздушную смесь из относительно «холодной» зоны тихоходной выходящей планетарной передачи и подают в охлажденном состоянии в зону скоростной входящей планетарной передачи. С учетом подачи на маслооросители охлажденной смазки из маслобака со встроенным холодильником и прохождения воды на блок внешнего орошения через охладитель редуктора по предварительным расчетам ожидается снижение температуры масла в картере редуктора на 25-30°C, т. е. до 50-60°C.

2. Автоконтроль и поддержание минимально необходимого уровня смазки в картере поворотного редуктора.

Во всех редукторах очистных комбайнов, в т. ч. зарубежных, традиционно применяется картерная система смазки путем окунания скоростных зубчатых колес в масляную ванну и разбрызгивания смазки по всей внутренней полости редуктора. При весьма посредственном результате смазывания всех элементов трансмиссии, накоплении продуктов износа зубчатых передач и подшипников, углеродной пыли и влаги из шахтной атмосферы такой способ смазки приводит к отбору передаваемой мощности и нагреву масла. Этот недостаток особенно проявляется в поворотных редукторах блоков резания из-за существенного изменения уровня смазки в картере при различных углах наклона корпуса редуктора.

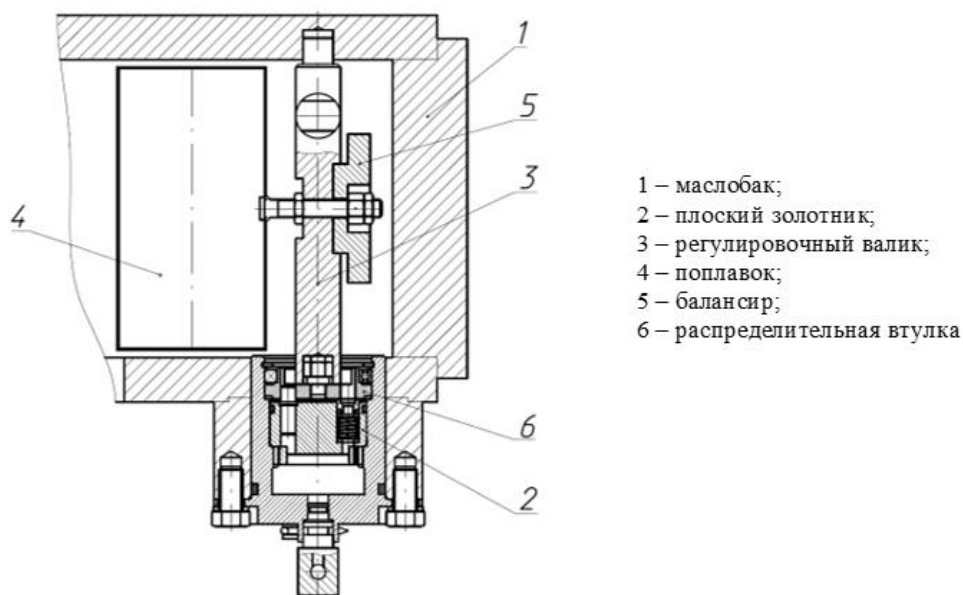


Рис. 7. Регулятор уровня смазочной жидкости в картере поворотного редуктора
Fig. 7. Regulator of the level of lubricating fluid in the crankcase of the rotary gearbox

С целью исключения контакта зубчатых колес редуктора поворотного блока резания с масляной ванной в его картере маслобак циркуляционной системы смазки (Рис. 7) оснащен плоским золотником, отводящим часть смазочной жидкости из линии нагнетания секции НШ1 насосной установки в маслобак. Золотник управляется регулировочным валиком с жестко закрепленным на нем поплавком регулятора уровня жидкости с балансиром. Поплавок, отслеживая уровень смазки в маслобаке, воздействует через регулировочный валик на кинематически связанную с ним распределительную втулку плоского золотника и обеспечивает в авторежиме постоянство заданного объема смазочной жидкости в картере редуктора. Этот объем определяется минимальным уровнем, достаточным для стабильного отбора жидкости всасывающей секцией НШ2, но исключая контакт зубчатых колес с маслом в ванне редуктора. При этом производительность секции нагнетания гидронасоса НШ1 должна быть несколько выше, чем у секции всаса НШ2.

3. Декомпрессионное устройство очистного комбайна.

Основная часть загрязнений, прежде всего абразивных частиц угля и породы, а также агрессивной влаги попадает в смазочную жидкость редукторных картеров через сапуны из шахтной атмосферы при охлаждении редуктора. При этом сапуны находятся, как правило, на крышках редукторов, в зонах исполнительных органов с наибольшей концентрацией разрушенной горной массы, пыли и влаги, что существенно ухудшает защиту трансмиссий комбайнов от попадания вредных примесей в смазочную жидкость и резко снижает надежность и ресурс комбайна.

Декомпрессионное устройство комбайна является составной частью системы смазки и состоит из воздушных полостей картеров редукторов и масло-

бака, герметично связанных между собой и с узлом коммуникации с шахтной атмосферой вентиляционными рукавами с условным проходом $d_y = 12$ мм. Узлы коммуникации находятся на максимальном расстоянии от исполнительных органов комбайна, где сосредоточены зоны образования углеродной пыли и водовоздушной смеси, с завальной стороны комбайна в местах, доступных для осмотра и обслуживания. Более того, они находятся в зоне прохождения свежей вентиляционной струи воздуха, идущего по лаве, что минимизирует возможность попадания пыли и влаги в картеры редукторов и маслобаков. Узлы коммуникации с шахтной атмосферой (Рис. 8) состоят из герметичных камер, оснащенных фильтрами грубой и тонкой очистки воздуха от пыли, размещенными в стаканах, установленных под крышками. Система лабиринтных каналов в крышках предотвращает фильтры от попадания в них крупных частиц породы и угля, а также случайных потоков шахтной воды и воды от орошения на комбайне. Отсеки рамы комбайна, в которых размещены узлы коммуникации с шахтной атмосферой, обладают большой вместимостью и способны обеспечить размещение каскада воздушных фильтров и фильтров-влагоотделителей с различной тонкостью фильтрации вплоть до 0,3 мкм при пропускной способности 3 000 л/мин.

При работе комбайна с декомпрессионными устройствами воздух из картеров редукторов по мере их нагрева будет выходить по вентиляционным каналам в воздушные полости маслобаков и далее через вентиляционные каналы и узлы коммуникации в шахтную атмосферу. После остановки комбайна и охлаждения редукторов шахтный воздух, содержащий частицы пыли и влаги, будет втягиваться через лабиринтные отверстия крышек узлов коммуникации. Проходя через фильтры грубой и тонкой очистки с большой пропускной способностью, очищенный от пыли воздух поступит в филь-

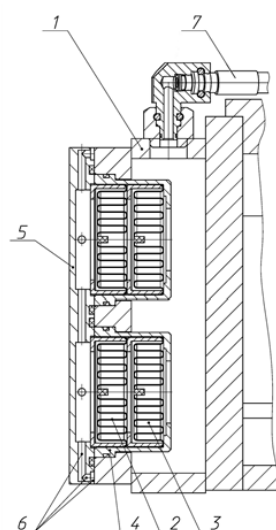
тры-влагоотделители с обеспечением очистки от влаги, содержащейся в шахтном воздухе. Из маслобака по вентиляционным каналам очищенный от пыли и осушенный от влаги воздух будет поступать в воздушные полости редукторов, не загрязняя смазочную жидкость и не привнося в нее, ухудшая качество смазки, дополнительную влагу.

Этим решением устраняется главный фактор загрязнения и окисления смазки трансмиссий под воздействием внешней среды очистного забоя.

4. Продление срока службы «вечных» уплотнений.

Срок службы редукторов очистных комбайнов наряду с ресурсом зубчатых передач и подшипников определяет ресурс их уплотнительных узлов. Наибольшую применимость для герметизации выходных валов редукторов исполнительных орга-

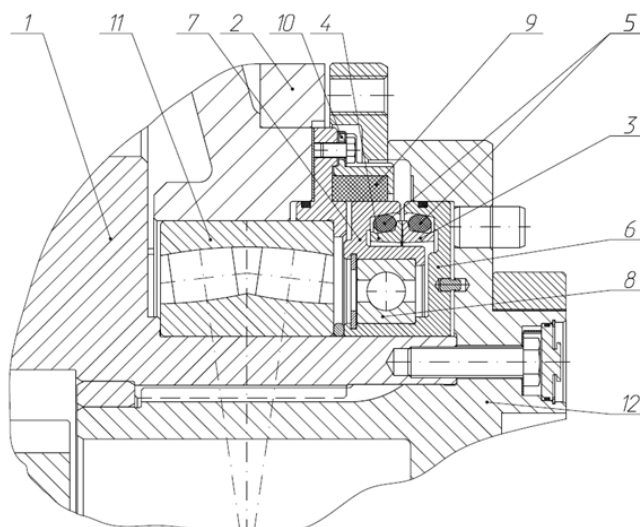
нов как в отечественном, так и в зарубежном комбайностроении заслужили торцевые уплотнения типа «Caterpillar». Они состоят из подвижного (вращающегося) и неподвижного износостойких металлических колец, прижатых друг к другу герметично торцами по узким кольцевым поясам, и двух упругих поджимных неметаллических колец круглого сечения, установленных на конических поверхностях износостойких колец со сторон, обратных кольцевым поясам. Эти уплотнения из-за высокой износостойкости металлических колец получили название «вечные». Однако при повышенном износе несущих подшипников выходного вала, ударных нагрузках и больших упругих деформациях элементов трансмиссии запаса упругих деформаций прижимных колец недостаточно для обеспечения герметичности уплотнительного узла,



- 1 – корпус;
- 2 – фильтр грубой очистки;
- 3 – фильтр тонкой очистки;
- 4 – стакан;
- 5 – крышка;
- 6 – лабиринтные каналы;
- 7 – вентиляционный рукав.

Рис. 8. Фрагмент узла коммуникации с шахтной атмосферой декомпрессионного устройства очистного комбайна КДК1000

Fig. 8. Fragment of the communication node with the mine atmosphere of the decompression device of the KDK1000 combine



- 1 – вал выходной;
- 2 – корпус редуктора;
- 3 – кольцо износостойкое подвижное;
- 4 – кольцо износостойкое неподвижное;
- 5 – кольцо прижимное;
- 6 – держатель подвижный;
- 7 – держатель неподвижный;
- 8 – подшипник качения;
- 9 – бандаж;
- 10 – крышка;
- 11 – подшипник радиальный;
- 12 – ступица.

Рис. 9. Уплотнительный узел выходного вала редуктора блока резания комбайна КДК1000

Fig. 9. Sealing unit of the output shaft of the gearbox of the KDK1000 combine cutting unit

что приводит к его разгерметизации, проникновению углепородного штыба и агрессивной влаги во внутреннюю полость редуктора и быстрому выходу его из строя. При разработке исполнительного органа комбайна КДК 1000 найдено решение по существенному повышению срока службы уплотнительного узла выходного вала редуктора блока резания (Рис. 9).

Так, между выходным валом и корпусом редуктора в специальных подвижном и неподвижном держателях установлен уплотнительный узел в виде торцевого уплотнения типа «Caterpillar». При этом держатели уплотнительных металлических колец установлены с охватом упругих поджимных неметаллических колец, находясь в плотном контакте с ними.

Между наружной цилиндрической поверхностью подвижного держателя и внутренней цилиндрической поверхностью неподвижного держателя установлен с минимальными зазорами высокоточный подшипник качения, внутренняя и наружная обоймы которого зафиксированы от смещения в осевом направлении. При этом наружная цилиндрическая поверхность держателя неподвижного кольца плотно охвачена бандажом из упругого материала с обеспечением герметичности соединения. Материал и упругие свойства бандаж заданы с условием обеспечения возможной величины осевых и радиальных смещений всего уплотнительного узла относительно корпуса редуктора без остаточных деформаций и разрушений бандаж. Кроме того, бандаж из упругого материала плотно прижат крышкой, прикрепленной к корпусному узлу с обеспечением герметичности по периметру сопряжения бандаж с ним.

Нагрузки от шнека при разрушении им угольного пласта и погрузке горной массы передаются через жестко соединенную с ним ступицу на выходной вал, радиальные подшипники и корпус. Радиальные и осевые смещения выходного вала относительно корпуса редуктора определяются зазорами в радиальных подшипниках, возможными смещениями в подвижных соединениях деталей узла и величиной упругих деформаций деталей от нагрузок. Радиальные и осевые смещения подвижного износостойкого кольца торцевого уплотнения относительно неподвижного кольца, определяющие ресурс и надежность работы всего редуктора исполнительного органа, в данном решении определяются только зазорами в осевом и радиальном направлениях высокоточного подшипника качения и зазорами между внутренней и наружной его обоймами с сопряженными деталями. Эти относительно небольшие смещения гарантированно компенсируются податливостью упругих поджимных колец. Все остальные смещения компенсируются упругой податливостью бандаж, плотно охватывающего цилиндрическую наружную поверхность неподвижного держателя, обеспечивая герметичность его соединения с сопрягаемыми деталями и гарантированное исключение возможности вращения держателя неподвижного износостойкого кольца. Жест-

кость и герметичность установки бандаж обеспечиваются усилием фиксации прижимной крышки.

Выводы:

Современный этап развития угольной промышленности России характеризуется концентрацией производства и непрерывным ростом нагрузок на очистной забой, достигающих 50 тыс. т/сутки угля при ужесточении требований по обеспечению высочайшей надежности и ресурса очистных комбайнов не менее 50 тыс. часов машинного времени до капитального ремонта. Анализ предельного состояния комбайнов-прототипов создаваемого комбайна (КДК500 и КДК600) перед их капитальным ремонтом выявил механический износ трансмиссий как преобладающий фактор ограничения ресурса – главного эксплуатационного параметра очистного комбайна.

Создание импортозамещающего комбайна КДК 1000, соответствующего по основным параметрам лучшим зарубежным комбайнам, осуществляется с первоочередным конструкторским разрешением вопросов надежности и долговечности трансмиссий комбайна, в том числе за счет перехода на принудительную циркуляционную систему смазки с фильтрацией и охлаждением смазочной жидкости. При этом параметры элементов высоконагруженных трансмиссий согласуются с эксплуатационными параметрами ранее выбранной и всесторонне испытанной в заводских и шахтных условиях отечественной смазочной жидкости (трансмиссионное легированное масло Mobilgear 600 XR 320). Предлагаемые меры в сочетании с рядом усовершенствований позволяют в 2-3 раза повысить ресурс высоконагруженных трансмиссий очистного комбайна КДК 1000 по сравнению с российскими аналогами и выйти на уровень лучших зарубежных комбайнов.

Разработка и освоение серийного производства перспективных принудительных циркуляционных систем смазки, основанных на предлагаемой методике расчетов и конструкторских решениях, позволят сформировать базу для переоснащения всех отечественных комбайнов при их создании либо модернизации с существенным повышением ресурса по сравнению с аналогами при относительно небольших затратах по реализации представленных решений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Косарев И. В., Мезников А. В. [и др.] Типоразмерный ряд очистных комбайнов КДК с частотно-регулируемым приводом подачи для отработки угольных пластов мощностью 1,2 – 5,5 м // Горное оборудование и электромеханика. 2024. № 5 (175). С. 25–34.
2. Морозов В. И., Чуденков В. И., Сурина Н. В. Очистные комбайны: Справочник. М.: Изд-во МГТУ, 2006. 650 с.
3. Техническое задание на опытно-конструкторскую работу «Выполнить научно-исследовательские и проектно-конструкторские работы по очистному комбайну с автоматизированным управлением и частотно-регулируемым

приводом бесцепной системы подачи с энерговооруженностью блоков резания 1100 кВт под номинальное напряжение 3300 В для отработки пластов мощностью 2,5-5,5 м в условиях угольных предприятий Российской Федерации» (Архив «ДОНУГЛЕМАШ» А/0076, 2024. С. 37).

4. Райко М. В. Смазка зубчатых передач. «Техніка». 1970.

5. Докукин А. В., Истомин В. Н., Тищенко Л. И. Износ, смазка и ремонт зубочерпал машин. Москва : Госгортехиздат, 1961. С. 168.

6. Исследование вопроса рационального выбора смазочного материала в горно-шахтном оборудовании» (Архив «Донгипроуглемаш» А/6585, 2009. С. 32).

7. «Рекомендации по выбору смазочного материала для комбайна УКД200-400» (Архив «Донгипроуглемаш» А/6626, 2010. С. 25).

8. INTERNATIONAL STANDARD ISO 281-2007 «Rolling bearings – dynamic load ratings and rating life». Second edition 2007-02-15.

9. ОСТ 12.14.291-81 Изделия угольного машиностроения. Материалы смазочные. Технические требования. Методика выбора.

10. Розенберг Ю. А. Влияние смазочных масел на долговечность и надежность деталей машины. Москва : Машиностроение, 1970. С. 312.

11. Коваленко В. П., Финкельштейн З. Л. Смазочные и гидравлические масла для угольной промышленности: Справочник. М. : Недра, 1991.

12. «Выполнить научно-исследовательские и проектно-конструкторские работы по очистному комбайну с автоматизированным управлением частотно-регулируемым приводом бесцепной системы подачи и энерговооруженностью блоков резания 700-800 кВт для отработки пластов мощностью 2,0-4,3 м в условиях угольных предприятий Российской Федерации, Республики Казахстан и других угледобывающих стран». Отчет НИР/ Технический архив ГБУ «ДОНУГЛЕМАШ» А/0061, 2020. 283 с.

13. «Выполнить научно-исследовательские и проектно-конструкторские работы по очистному комбайну с автоматизированным управлением частотно-регулируемым приводом бесцепной системы подачи и энерговооруженностью блоков резания 1000 кВт под номинальное напряжение 3300 В для отработки пластов мощностью 2,5-5,5 м в условиях угольных предприятий Российской Федерации». Отчет НИР/ Технический архив ГБУ «ДОНУГЛЕМАШ» А/0094, 2024. 77 с.

© 2025 Автор. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Косарев Иван Васильевич, директор, ГБУ «ДОНУГЛЕМАШ», (283048, ДНР, г.о. Донецк, г. Донецк, ул. Университетская, 83А), e-mail: donuglemash@mail.ru

Мезников Артур Владимирович, зам. директора по науч. работе, ГБУ «ДОНУГЛЕМАШ», (283048, ДНР, г.о. Донецк, г. Донецк, ул. Университетская, 83А)

Косарев Василий Васильевич, ученый секретарь, канд. техн. наук, ГБУ «ДОНУГЛЕМАШ», (283048, ДНР, г.о. Донецк, г. Донецк, ул. Университетская, 83А)

Андреев Георгий Владимирович, зав. отд., ГБУ «ДОНУГЛЕМАШ», (283048, ДНР, г.о. Донецк, г. Донецк, ул. Университетская, 83А)

Чайков Евгений Михайлович, гл. конструктор проекта, ГБУ «ДОНУГЛЕМАШ», (283048, ДНР, г.о. Донецк, г. Донецк, ул. Университетская, 83А)

Заявленный вклад авторов:

Косарев Иван Васильевич – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, обзор соответствующей литературы, выводы, написание текста.

Мезников Артур Владимирович – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, обзор соответствующей литературы, выводы, написание текста.

Косарев Василий Васильевич – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, обзор соответствующей литературы, выводы, написание текста.

Андреев Георгий Владимирович – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, обзор соответствующей литературы, выводы, написание текста.

Чайков Евгений Михайлович – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, обзор соответствующей литературы, выводы, написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

FORCED CIRCULATION LUBRICATION SYSTEM FOR HIGHLY LOADED TRANSMISSIONS OF THE KDK 1000 CLEANING COMBINE



Article info

Received:

20 May 2025

Accepted for publication:

30 June 2025

Accepted:

01 August 2025

Published:

28 August 2025

Keywords: combine harvester, planetary cylindrical gearbox, cutting unit, water-air ejector, circulating lubrication system, transmission alloyed oil, extreme pressure additive, viscosity of the lubricating fluid.

Abstract.

The article substantiates the need to find new ways to significantly increase the resource when creating the KDK1000 import-substituting combine harvester and, above all, its highly loaded cutting and feeding block transmissions. The technical characteristics, parameters and design features of the gearboxes of these blocks as resource-determining components of the combine are presented. The specifics of the operation of combine gearboxes in mine conditions are reflected and the analysis of factors affecting the service life of the gearboxes and the combine as a whole is performed. The necessity of switching to a forced circulating lubrication system is substantiated as one of the three main factors ensuring a significant increase in the service life and reliability of gearboxes. The main criteria affecting the durability of bearing assemblies and gears are reflected, methods for their calculation and evaluation of lubrication efficiency are presented. The necessity of forced water and fundamentally new water-air cooling of gearboxes and the lubricant supplied to them is substantiated, and new detailed technical solutions are presented in the implementation of this direction of increasing the resource and reliability of highly loaded transmissions of mining machines. Some results of bench tests of alloyed transmission oils in the composition of planetary cylindrical reducers of cutting blocks of the UKD200-400 cleaning combine are reflected. A number of patented and patented technical solutions are presented to improve the efficiency of the most advanced forced circulation lubrication system, its basic hydraulic scheme, and a preliminary calculation of the pumping unit's performance for sufficient heat extraction from transmissions. Innovative solutions for equipping combine harvester transmissions and their lubrication systems with protective equipment against dirt, dust and aggressive moisture from the external environment of the cleaning face are presented. A further set of measures is planned to improve transmissions and their lubrication systems to increase the service life and reliability of combine harvesters.

For citation: Kosarev I.V., Meznikov A.V., Kosarev V.V., Andreev G.V., Chaikov E.M. Forced circulation lubrication system for highly loaded transmissions of the KDK 1000 cleaning combine. Mining Equipment and Electromechanics, 2025; 4(180):22-36 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2025-4-22-36, EDN: RYJFIZ

REFERENCES

1. Kosarev I.V., Meznikov A.V. and others. A standard-sized range of KDK cleaning combines with a frequency-controlled feed drive for mining coal seams with a capacity of 1.2 – 5.5 m. *Mining equipment and Electromechanics*. 2024; 5(175):25–34.
2. Morozov V.I., Chudnikov V.I., Surina N.V. *Cleaning combines: A handbook*. Moscow: MGSU Publishing House; 2006. 650 p.
3. Terms of reference for the development work "To carry out research and design work on a cleaning combine with automated control and a frequency-

controlled drive of a chainless supply system with an energy capacity of 1100 kW cutting units at a nominal voltage of 3300 V for mining formations with a capacity of 2.5-5.5 m in conditions of coal enterprises of the Russian Federation" (Archive "DONUG-LEMASH" A/0076, 2024. P. 37).

4. Raiko M.V. *Lubrication of gears*. Technika, 1970.

5. Dokukin A.V., Istomin V.N., Tishchenko L.I. *Wear, lubrication and repair of downhole machines*. Moscow: Gosgortehizdat; 1961. P. 168.

6. Investigation of the issue of rational choice of lubricants in mining equipment. (Dongiprouglemash Archive A/6585, 2009. P. 32).

7. "Recommendations on the choice of lubricants for the UKD200-400 combine harvester" (Dongiprouglemash Archive A/6626, 2010. P. 25).

8. INTERNATIONAL STANDARD ISO 281-2007 "Rolling bearings – dynamic load ratings and rating life". Second edition 2007-02-15.

9. OST 12.14.291-81 Coal machinery products. Lubricants. Technical requirements. The method of selection.

10. Rosenberg Yu.A. The influence of lubricating oils on the durability and reliability of machine parts. Moscow: Mashinostroenie Publ.; 1970. P. 312.

11. Kovalenko V.P., Finkelstein Z.L. Lubricants and hydraulic oils for the coal industry: A reference book. Moscow: Nedra; 1991.

12. To carry out research and design work on a cleaning unit with automated control by a frequency-controlled drive of a chainless feed system and the power consumption of 700-800 kW cutting units for mining seams with a capacity of 2.0-4.3 m in the conditions of coal enterprises of the Russian Federation, the Republic of Kazakhstan and other coal-producing countries. Research report. Technical Archive GBU "DONUGLEMASH" A/0061, 2020. 283 p.

13. To carry out research and design work on a treatment plant with automated control by a frequency-controlled drive of a chainless supply system and an energy capacity of 1000 kW cutting units at a rated voltage of 3300 V for mining formations with a capacity of 2.5-5.5 m in the conditions of coal enterprises of the Russian Federation. Research report. Technical Archive of GBU "DONUGLEMASH".

© 2025 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the author:

Ivan V. Kosarev, Director, GBU «DONUGLEMASH», (283048, DNR, Donetsk, Donetsk, Universitetskaya str., 83A), e-mail: donuglemash@mail.ru

Artur V. Meznikov, Deputy Director of Scientific Work, GBU «DONUGLEMASH», (283048, DNR, Donetsk, Donetsk, Universitetskaya str., 83A)

Vasily V. Kosarev, Scientific Secretary, Candidate of Technical Sciences, GBU «DONUGLEMASH», (283048, DNR, Donetsk, Donetsk, Universitetskaya str., 83A)

Georgy V. Andreev, Head of Department, GBU «DONUGLEMASH», (283048, DNR, Donetsk, Donetsk, Universitetskaya str., 83A)

Evgeny M. Chaikov, Chief designer of the project, GBU «DONUGLEMASH», (283048, DNR, Donetsk, Donetsk, Universitetskaya str., 83A)

Contribution of the authors:

Ivan V. Kosarev – formulation of a research task, scientific management, review of relevant literature, conceptualization of research, collection and analysis of data, review of relevant literature, conclusions, writing the text.

Artur V. Meznikov – formulation of a research task, scientific management, review of relevant literature, conceptualization of research, collection and analysis of data, review of relevant literature, conclusions, writing the text.

Vasily V. Kosarev – formulation of a research task, scientific management, review of relevant literature, conceptualization of research, collection and analysis of data, review of relevant literature, conclusions, writing the text.

Georgy V. Andreev – formulation of a research task, scientific management, review of relevant literature, conceptualization of research, collection and analysis of data, review of relevant literature, conclusions, writing the text.

Evgeny M. Chaikov – formulation of a research task, scientific management, review of relevant literature, conceptualization of research, collection and analysis of data, review of relevant literature, conclusions, writing the text

The claimed contribution of the authors:

Authors have read and approved the final manuscript.

