

Кузнецова В.Н., д-р техн. наук, доц.,  
Ярмович Я.В., аспирант  
Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МЕТОДИКИ ОБОСНОВАНИЯ РЕСУРСА СИСТЕМЫ СМАЗКИ ДРОБИЛЬНО-РАЗМОЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

dissovetsibadi@bk.ru

В данной статье рассматривается проблема сокращения затрат при эксплуатации дробильно-размольного оборудования (ДРО), связанная с большим расходом смазочного материала, так как объем систем смазки ДРО может составлять до 60 м<sup>3</sup>. Путями сокращения расходов при эксплуатации ДРО является своевременная замена или очистка смазочного материала для системы смазки ДРО, а также использование переливной перегородки в баке-отстойнике для обеспечения непрерывной очистки смазочного материала. В данной статье представлены основные методики обоснования периодичности обслуживания и ресурса системы смазки ДРО. Также предлагается обобщенная методика расчета бака-отстойника, с помощью которой возможно определить место установки переливной перегородки в соответствии с конкретными условиями эксплуатации ДРО.

**Ключевые слова:** Дробильно-размольное оборудование, система смазки, смазочный материал, долговечность, осаждение частиц, ресурс оборудования.

**Введение.** При эксплуатации дробильно-размольного оборудования (ДРО) наблюдается весьма большой расход промышленных масел из-за необходимости их замены. У данного вида оборудования встречаются системы смазки ёмкостью до 60 м<sup>3</sup> [1]. Смазочные системы ДРО обеспечивают работоспособность подшипников скольжения типа баббит-сталь, которые применяются в эксцентриках конусных дробилок и опорах барабанных мельниц. Эти подшипники являются несущими, на них приходится воздействие от веса оборудования и обрабатываемого сырья, а также реакции от динамического воздействия на обрабатываемый материал. Ресурс этих узлов редко превышает 4000 ч [2]. В результате ежегодно проводятся ремонтные работы с длительной остановкой оборудования, что отражается на объеме выпуска продукции.

Интенсивное насыщение смазочного материала механическими примесями происходит от обрабатываемого сырья, из-за негерметичности систем смазки и продуктами изнашивания, что приводит к повышению загрязненности масла до 6 %[3].

**Методика.** Поддержание оптимального низкого уровня загрязнений в масле, осуществляемое путем замен менее рационально, чем своевременная очистка масла от механических примесей и их замена по фактическому состоянию, а для этого следует создавать необходимую информационно-методическую базу. Ещё более целесообразно создавать такие системы, в которых процесс удаления механических примесей происходил бы постоянно, а для смазывания узлов трения поступало очищенное масло.

В качестве смазочного материала для узлов трения ДРО используются промышленные масла И-40 (ГОСТ 20799-88 68), И-50 (ГОСТ 20799-88 100). Но для таких узлов трения, где не требуется высокий уровень промышленной чистоты в качестве смазочных материалов можно использовать и отработанные масла и смеси масел.

По результатам проведенных исследований установлено, что основной причиной потери работоспособного состояния смазочного материала системы смазки ДРО является насыщение смазочного материала механическими примесями и водой, которые влияют на изменение его кислотного числа и вязкости. Количественное значение предельной концентрации механических примесей для системы смазки ДРО было определено в предыдущих работах [4], и была получена зависимость предельной концентрации механических примесей от коэффициента крепости обрабатываемого материала по шкале профессора М.М. Протодяконова. Это позволило получить зависимость для определения предельной концентрации механических примесей:

$$K_{\Pi} = -0,075f + 2,35, \quad (1)$$

где  $K_{\Pi}$  – предельная концентрация механических примесей, %;  $f$  – коэффициент крепости обрабатываемого материала по шкале профессора М.М. Протодяконова.

**Основная часть.** За основу методики расчета периодичности замены смазочного материала системы смазки ДРО взята модель обоснования долговечности технических систем и машин профессора А.М. Шейнина [5]. В ее основе лежит целевая функция минимизации затрат на проведение технического обслуживания:

$$C(T) = \frac{v_{ц}(T)}{M} \frac{C_{ам.о} + C_p + C_{к.п.}}{T} + \sum_i \frac{C_{обі}}{T_{обі}} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где  $v_{ц}(T)$  – число ремонтных циклов за срок службы машины до списания;  $M$  – коэффициент определяющий продолжительность амортизационных отчислений;  $C_{ам.о}$  – средняя величина амортизационных отчислений за один ремонтный цикл машины;  $C_p$  – затраты на устранение отказов и неисправностей машины в процессе ремонтов за один ремонтный цикл;  $C_{к.п.}$  – затраты на компенсацию потерь вследствие снижения производительности и увеличения расхода смазочных материалов при изнашивании деталей машины в течение одного ремонтного цикла;  $T$  – ресурс до первого капитального ремонта;  $C_{обі}$  – затраты на техническое обслуживание  $i$  машин;  $T_{обі}$  – периодичность технического обслуживания.

Решение целевой функции (2) позволяет выявить оптимальные значения ресурса  $T$ , периодичности обслуживания и предельного износа  $I_n$  с учетом их взаимосвязи. Преобразования, проведенные профессором В.А. Зориным [6], позволяют получить из целевой функции (2) формулы расчета оптимальных значений показателей долговечности, которые лежат в основе модели для определения оптимальных значений показателей долговечности конструктивно несложных сопряжений и сборочных единиц, причиной отказа которых является предельный износ. Модель служит для оптимизации ресурса и периодичности технического обслуживания. Величину предельного износа определяют по критерию невозможности дальнейшей эксплуатации объекта. При расчете она является заданной и не оптимизируется.

Целевая функция для этой модели имеет вид

$$C(T) = \frac{v_{ц}(T)}{M} \frac{C_{ам.о} + cI_{п}^{\beta}}{I_{п}} bT_{об}^{\alpha-1} + \frac{C_{об}}{T_{об}} \rightarrow \min, \quad (3)$$

где  $I_{п}$  – предельный износ;  $c$  – коэффициент, зависящий от режима работы и условий эксплуатации машины;  $\beta$  – показатель степени, обусловленный конструкцией и функциональным назначением сопряжения;  $\alpha$  и  $b$  – эмпирические коэффициенты, являющиеся параметрами закономерности изнашивания, определяются в процессе эксплуатации.

Оптимальная периодичность обслуживания

$$T_{об.опт} = \left( \frac{I_{п}}{bN} \right)^{1/\alpha}, \quad (4)$$

где  $N$  – число обслуживаний за оптимальный ресурс.

На основе проведенного анализа накопления механических примесей в системе смазки ДРО установлено качественное совпадение кривой изнашивания пары трения, в том числе баббит – сталь, и кривой накопления механических примесей. Кроме того, изменение массового или линейного износа в процессе эксплуатации опорного подшипника скольжения ДРО установить бывает практически невозможно, либо данный процесс оказывается значительно трудоемким и требует больших временных и материальных затрат. Поэтому предполагается оценивать состояние системы смазки ДРО и процесса его изнашивания по показателю предельной концентрации механических примесей  $K_{п}$ :

$$T = \left( \frac{K_{п}}{bN} \right)^{1/\alpha}. \quad (5)$$

Разработанный алгоритм расчета периодичности обслуживания или замены смазочного материала системы смазки ДРО представленный на рисунке 1, позволяет получить программу расчета ресурса смазочного материала, что расширяет методологическую базу технического обслуживания и ремонта системы смазки ДРО.

В соответствии с положением о планово-предупредительных ремонтах оборудования [2], замену смазочного материала необходимо производить каждые 1620 часов, что соответствует трем месяцам эксплуатации оборудования. Благодаря проведенным расчетам можно продлить время эксплуатации смазочного материала системы смазки ДРО.

Поддержание чистоты масел на необходимом уровне, в том числе внедрение самоочищающихся систем смазки, использование отработанных очищенных масел вместо промышленных позволяет снизить затраты на эксплуатацию ДРО, утилизацию отработанных масел, сократить потребление смазочных материалов и увеличить ресурс узлов трения [7].

Для это была создана обобщенная методики расчета бака-отстойника, в котором будет происходить процесс осаждения частиц под действием силы тяжести, и в узел трения будет подаваться очищенное масло. Цель методики - создание расчета, который позволит определить место установки переливной перегородки обоснованно. Фактически бак будет разделен на две части: на отстойник, в котором будет происходить осаждение грубых частиц, и на сам бак.

Для того, чтобы бак-отстойник выполнял свои функции необходимо, чтобы в нем осаждались частицы большего диаметра, чем толщина масляной пленки в подшипниках скольжения ДРО. Расчет масляных пленок не проводился,

так как толщина пленки зависит от многих конкретных факторов, связанных с конструкцией оборудования. Как видно из литературы, толщина может составлять от 20 мкм до и 2 мм [8]. Расчет будет ориентирован на получение результатов, связанных с минимальными значениями толщин пленок.

В расчете были приняты некоторые допущения: 1 – режим движения жидкости ламинарный; 2 – жидкость однородная; 3 – частицы сферической формы.

Поступающая в отстойник жидкость движется горизонтально со средней скоростью  $u_{\text{п}}$ .

Частицы под действием силы тяжести двигаются с постоянной скоростью  $W_{\text{ос}}$  к дну и одновременно вместе с жидкостью вдоль отстойника со скоростью  $u_{\text{п}}$ . В гидравлических расчетах бака смазочной системы используют соотношение, при котором длина бака  $l=3b$ , где  $b$  – ширина бака, а высота бака  $h=2b$ . Смысл этого заключается в том, что при определенных размерах площадки, где будет установлен бак-отстойник, всегда можно установить бак, соответствующий условиям смазочной системы.



Рис. 1 Алгоритм расчета периодичности воздействия или замены смазочного материала в системе смазки ДРО

Для того, чтобы определить, какие частицы будут осаждаться в отстойнике, а какие нет, необходимо определить толщину потока, который создается насосом, подающим масло в подшипники скольжения. В качестве допущения принимаем условие, что данный поток постоянный и не изменяется. Процессы, связанные с теплообменом и перемешиванием, не учитываются. Принимается, что поток имеет определенную геометрическую форму.

Объемная подача есть не что иное, как количество жидкости, проходящее за единицу

времени, таким образом, можно представить ее в виде

$$V = \frac{lbh}{t}. \quad (6)$$

Отсюда можно выразить толщину потока масла, который создается насосом, принимая время равным единице

$$h_{\text{п}} = \frac{V}{lb}. \quad (7)$$

Как известно, уравнение Стокса для ламинарного режима:

$$W_{oc} = \frac{d^2(\rho_{ч}-\rho_{ж})g}{18\mu}. \quad (8)$$

Для конкретных условий будем определять скорость осаждения частиц с различным диаметром по формуле (8). Зная значения плотности и динамической вязкости масла, необходимо определиться с плотностью обрабатываемого материала. Зададимся диаметром частиц равным 0,5 - 100 мкм, так как 0,5 мкм соответствует нижнему значению тонких частиц, а 100 мкм

соответствует верхнему значению частиц. Таким образом, если данные частицы будут оседать в баке-отстойнике при конкретных условиях, то и все остальные частицы большего размера, будут также оставаться в баке и не повлияют на работу подшипников скольжения.

Зная скорость осаждения различных частиц и толщину потока, можно определить за какое время частицы выйдут из движущегося потока

$$\tau_{III} = \frac{h_{II}}{W_{oc}}. \quad (9)$$

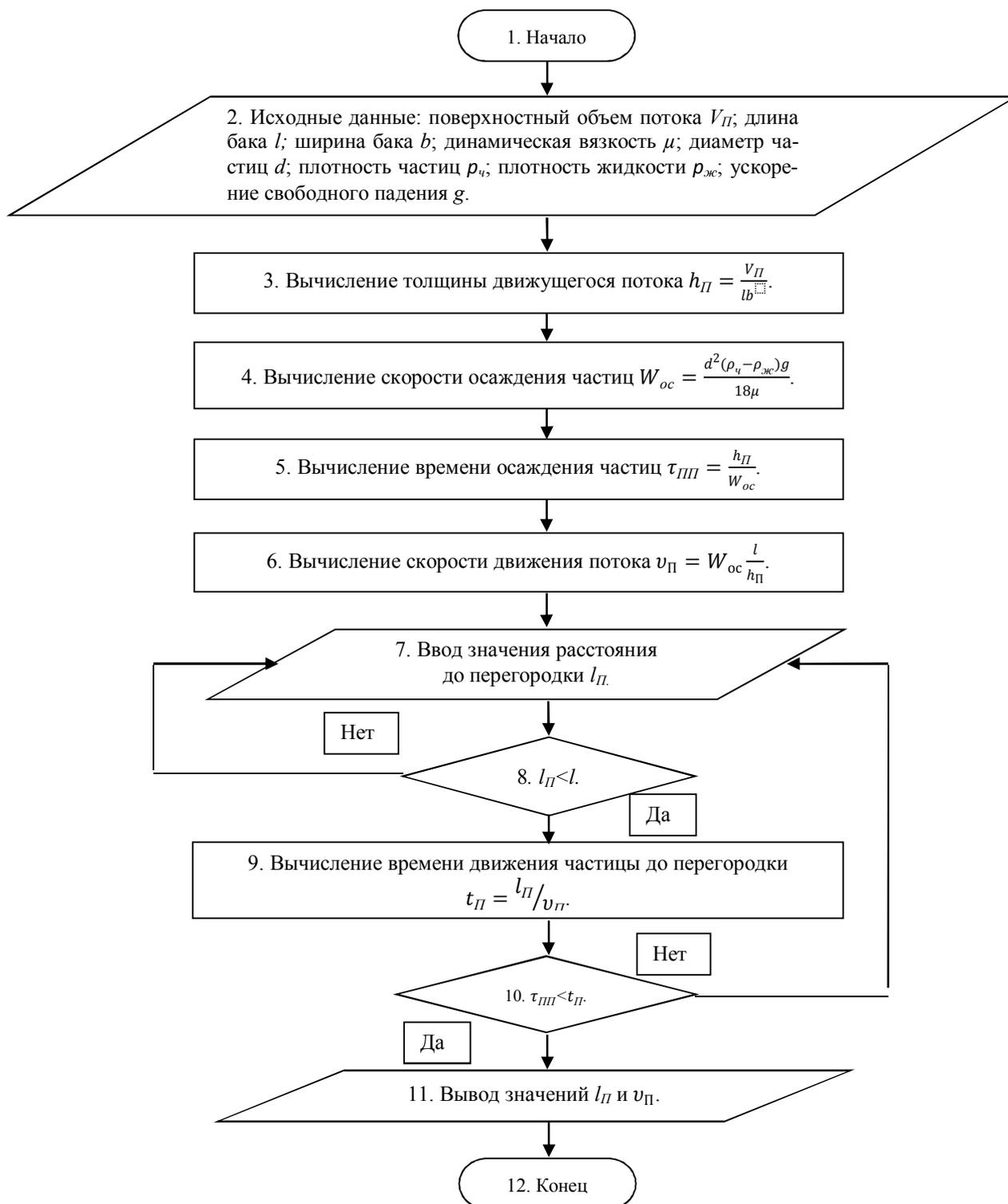


Рис. 2 Алгоритм расчета места установки переливной перегородки в баке-отстойнике ДРО

Зная время осаждения частиц различных диаметров и время прохождения движущегося потока, можно определить необходимую скорость движения потока, при которой частицы будут проходить движущийся поток и оставаться в баке-отстойнике. При заданных размерах отстойника  $l$ ,  $h$ ,  $b$  можно найти допустимую максимальную скорость движения жидкости, при которой твердые частицы осядут на дно отстойника. Зададимся постоянной скоростью осаждения, соответствующей скорости осаждения частицы диаметром 20 мкм, что определяется минимальной толщиной масляного слоя. Определяя необходимую скорость потока, зададимся не только расстоянием 3 м, соответствующие длине рассматриваемого бака, но и определим необходимые скорости потоков и при меньших значениях длин:

$$v_{\Pi} = W_{\text{ос}} \frac{l}{h_{\Pi}}. \quad (10)$$

Имея скорости потока, можно рассчитать время, за которое частицы достигнут заданного расстояния, на котором будет расположена переливная перегородка. Определив это время, можно определить, какие частицы будут гарантированно осаждаться, пройдя данный отрезок:

$$t_{\Pi} = l_{\Pi} / v_{\Pi}. \quad (11)$$

Частицы механических примесей будут гарантировано оставаться в баке-отстойнике системы смазки ДРО в случае, если будет выполняться условие  $\tau_{\text{пп}} < t_{\Pi}$ .

Алгоритм расчета места установки переливной перегородки представлен на рисунке 2.

**Выводы.** В результате исследований получены значения фактической наработки системы смазки ДРО до проведения технического обслуживания, во время которого смазочный материал должен быть очищен от механических примесей или заменен на новое масло. Для обеспечения герметичности системы смазки в целом во время технического обслуживания рекомендуется замена сальников, прокладок и очистка днища и стенок бака системы смазки от механических примесей.

По результатам данных расчетов можно оценить, частицы какого размера будут выходить из движущегося потока масла, при заданной скорости этого потока. Таким образом, можно оценить, на какое расстояние необходи-

мо устанавливать переливную перегородку в баке-отстойнике при определенной скорости потока, чтобы обеспечить осаждения частиц необходимого размера и предотвратить износ материалов вала и подшипника скольжения, что в свою очередь повлияет на увеличение ресурса оборудования и сокращение затрат при эксплуатации дробильно-размольного оборудования.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Корнеев С.В., Данилов Л.И., Свечникова Ф.И., Каданцев А.В., Ножненко А.В. Рекомендации по применению смазочных материалов, оборудования и рациональному использованию смазочных материалов на предприятиях цветной металлургии. М., Металлургия, 1988. С. 192.
2. Положение о планово-предупредительных ремонтах оборудования и транспортных средств на предприятиях Министерства цветной металлургии СССР. 2-е изд., перераб. И доп. М., Недра, 1984. 176 с.
3. Корнеев С.В., Лагунов В.Б., Мичник Б.Х., Шачин А.И., Данилов Л.И., Свечникова Ф.И. О критерии предельного состояния смазочного материала для пары трения баббит-сталь // Трение и износ. Минск. Наука и техника. Т. 7. 1986. №2. С. 342–346.
4. Ярмович Я.В., Корнеев С.В. О предельном состоянии масел для дробильно-размольного оборудования // Тяжелое машиностроение, 2005. №5. С. 40–41.
5. Шейнин А.М. Эксплуатация дорожных машин: учебник для вузов по спец. "Строит. и дор. машины и оборуд." М.: Машиностроение, 1980. 334 с.
6. Зорин В.А. Основы работоспособности технических систем: учебник для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2009. 208 с.
7. Ярмович Я.В. Способы экономии индустриальных масел в системах смазки дробильно-размольного оборудования // Труды аспирантов и студентов ГОУ «СибАДИ»: сборник трудов. Вып. 8. Омск, 2011. С. 235–240.
8. Квитницкий Е.И., Киркач Н.Ф., Полтавский Ю.Д., Савин А.Ф. Расчет опорных подшипников скольжения: справочник. М.: Машиностроение, 1979. 70 с.

---

**Kuznetsov V.N., Yarmovich Y.V.****SUMMARY OF STUDY METHODS RESOURCE LUBRICATION SYSTEMS CRUSHING AND MILLING EQUIPMENT**

*This article addresses the problem of reducing costs in the operation of crushing and milling equipment associated with high consumption of lubricant, as the volume of the equipment lubrication systems can be up to 60 m<sup>3</sup>. Ways of reducing costs in the operation of the equipment is timely replacement or cleaning for grease lubrication systems of equipment and use weir in the settling tank for continuous purification of lubricant. This article presents the basic methods of study periodicity of service and resource of lubrication system of the equipment. It is also proposed a generalized method of calculating the pot settling, with which it is possible to determine the place of installation weir in accordance with the specific conditions of use the equipment.*

**Key words:** *Crushing and grinding machinery, lubrication system, grease, durability, particle deposition, the life of equipment.*

---

**Кузнецова Виктория Николаевна**, доктор технических наук, профессор кафедры «Эксплуатация и сервис транспортно-технологических машин и комплексов в строительстве».

Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия

Адрес: Россия, 644080, г. Омск, проспект Мира, д. 5.

E-mail: dissovetsibadi@bk.ru

**Ярмович Ярослав Владимирович**, аспирант кафедры «Эксплуатация и сервис транспортно-технологических машин и комплексов в строительстве».

Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия.

Адрес: Россия, 644080, г. Омск, проспект Мира, д. 5.

E-mail: Nimlor87@gmail.com