



УДК 621.771.07

Ю.В. Жиркин, Е.А. Пузик
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»,
г. Магнитогорск, РФ,
E-mail: girkin@ya.ru, ekshalimova@mail.ru
Дата поступления 12.04.2015

АЛГОРИТМ ПОДБОРА СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ СМАЗЫВАНИЯ ПОДШИПНИКОВЫХ ОПОР РАБОЧИХ ВАЛКОВ КЛЕТЕЙ КВАРТО

Аннотация

На основе проведенных исследований условий эксплуатации подшипников качения опор рабочих и опорных валков клетей кварто ОАО «ММК», авторами статьи предлагается новый подход к выбору вязкости смазочных материалов, применяемых в системе «масло-воздух». Материалы исследований положены в основу алгоритма и программы ЭВМ. Данная программа позволяет осуществить выбор класса вязкости минерального масла для смазывания подшипников качения опор рабочих и опорных валков клетей кварто, учитывая особенности процесса их эксплуатации. Основной целью такого выбора является увеличение ресурса работы подшипников качения, путём создания условий для реализации эластогидродинамического режима смазывания, который характеризуется полным разделением трущихся поверхностей слоем смазочного материала.

Ключевые слова: подшипники качения, рабочие валки, смазочный материал, система «масло-воздух».

Введение

За последние годы на широкополосных станах горячей и холодной прокатки широко используется система смазывания «масло-воздух». Фирмы, поставляющие данные системы, рекомендуют несколько классов вязкости минеральных масел – 100, 220, 320, 460. Предполагается, что конкретный класс вязкости (КВ) будет установлен в процессе эксплуатации.

Выполненные исследования [1-6] показали, что в процессе эксплуатации необходимо не только обеспечить смазывание подшипниковых опор рабочих и опорных валков, но и использовать смазочный материал (СМ) такого КВ, при котором будет достигнут максимальный ресурс подшипников качения. А это во многом определяется поведением СМ непосредственно в зоне контакта тел качения с дорожками качения в подшипнике. На стане – тандем 2000 холодной прокатки (ХП) задача по выбору КВ минерального масла осложняется тем, что конструктивно подача СМ осуществляется во все подшипниковые опоры стана из одного резервуара. В то же

время подшипниковые опоры находятся в различных условиях кинематического и силового нагружения и, соответственно, вязкость СМ на контакте будет различная. Это ведёт к формированию на контакте смазочной плёнки различной толщины, и соответственно, к различному ресурсу подшипников качения (ПК), установленных в той или иной клетке. Поэтому необходим СМ такого класса вязкости, при котором будет обеспечен максимальный ресурс подшипников качения рабочих и опорных валков во всех пяти клетях. Этой цели и служит разработанный алгоритм, который явился основой соответствующей программы для ЭВМ.

Основная часть

В настоящее время для смазывания подшипниковых опор рабочих и опорных валков 1-5 клетей стана 2000 ХП применяются минеральное масло Mobilgear 320 класса вязкости 320.

Данные, полученные с производства, говорят о том, что основной причиной выхода из строя подшипников качения является их перегрев и износ (таблица 1)

Ресурс ПК опор рабочих валков стана 2000 ХП за 2011-2014 гг.

Номер подушки	Маркировка подшипника	Дата установки	Наработка, час.	Причина выхода
1	МВ-15	18.03.11	5438	Перегрев
1	НК-15	16.05.12	2486	Перегрев
1	NY-7	12.02.13	2386	Перегрев
2	КС-30	18.03.11	5450	Перегрев
2	NL-7	28.05.12	5692	Перегрев
5	KF-2	20.03.11	4960	Перегрев
6	NY-5	07.04.12	1347	Перегрев
11	VD-312E	29.12.11	3870	Перегрев
13	KF-14	31.03.11	4960	Перегрев
13	KF-3	14.05.12	2150	Перегрев
13	NY-9	09.01.13	104	Перегрев
17	КС-25	30.03.11	460	Перегрев
21	KG-9	03.04.11	4520	Перегрев
36	КС-4	16.02.12	7120	Износ
50	МВ-11	26.11.11	7304	Износ
13	NY-16	11.06.11	7500	Износ
43	КС-12	24.11.11	7780	Износ
53	KG-6	10.11.12	7960	Износ
54	НК-18	30.12.12	8032	Износ
46	NL-2	05.10.12	8160	Износ
39	КС-18	06.12.11	9680	Износ

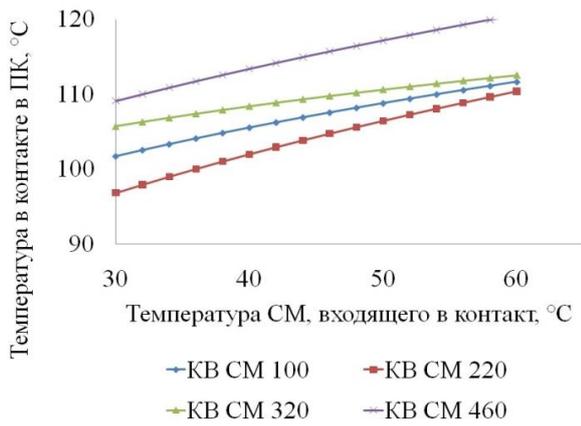
Необходимо было установить, является ли данное минеральное масло оптимальным с точки зрения ресурса подшипников качения опор рабочих и опорных валков.

В результате исследований, выполненных на экспериментальной установке кафедры «Проектирование и эксплуатация металлургических машин и оборудования» было выявлено, что существенное влияние на температуру масла на контакте оказывает температура масла, подаваемого в подшипник качения и скорость качения на контакте [2]. Исследования проводились с использованием минеральных масел марки ИР 100 КВ 100, марки ТНК 522 КВ 220, марки Mobilgear 320 КВ 320, марки 460ПВ КВ 460 при суммарных скоростях качения в контакте 2,9 м/с и 7,92 м/с. Экспериментальные данные были аппроксимированы зависимостями, отражающими влияние температуры минерально-

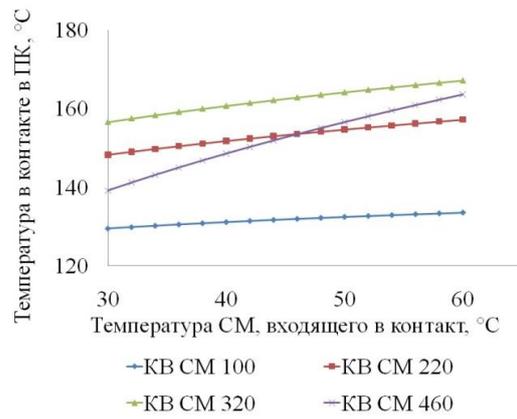
го масла, подаваемого в ПК на температуру минерального масла непосредственно в контакте тел качения с дорожками качения внутреннего и наружного колец (рисунок 1). Это позволило установить изменение величины коэффициента толщины масляной плёнки – λ в зависимости от температуры минерального масла, подаваемого в ПК (рисунок 2).

Параметр λ служит критерием для оценки долговечности подшипниковых опор. При $\lambda > 1$ фактическая долговечность ПК превышает расчётную. При $\lambda > 3$ реализуется режим ЭГД-смазки. Создание этого режима позволит в несколько раз повысить расчётную долговечность [7].

Учёт полученных зависимостей интенсивности разогрева минерального масла (рисунок 3), позволяет принимать меры по предотвращению перегрева ПК в подшипниковых опорах валков.

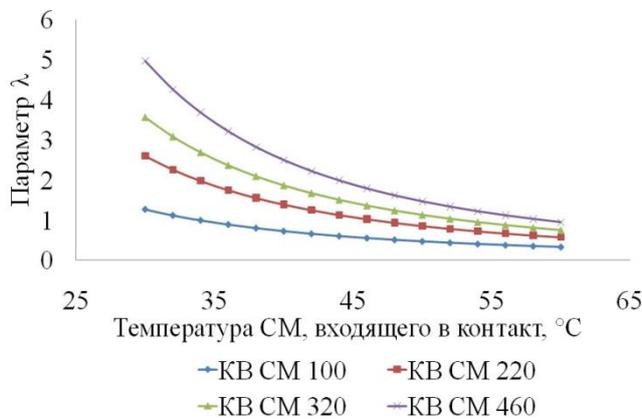


а)

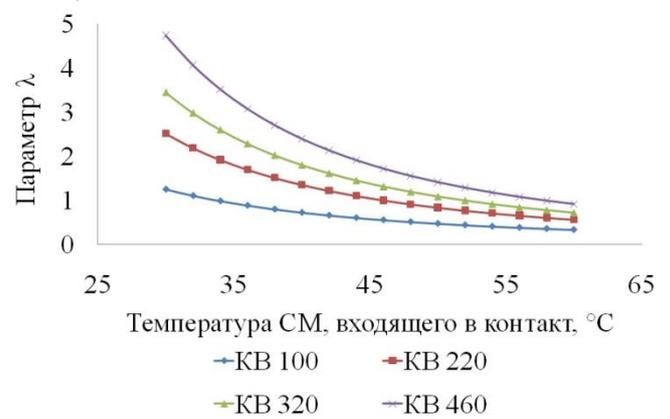


б)

Рисунок 1. Изменение температуры на контакте в ПК для четырёх классов вязкости смазочного материал а) суммарная скорость качения в контакте 2,9м/с, б) суммарная скорость качения в контакте 7,92 м/с.

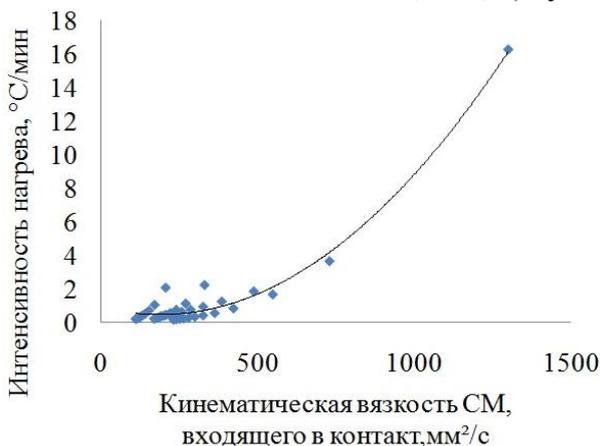


а)

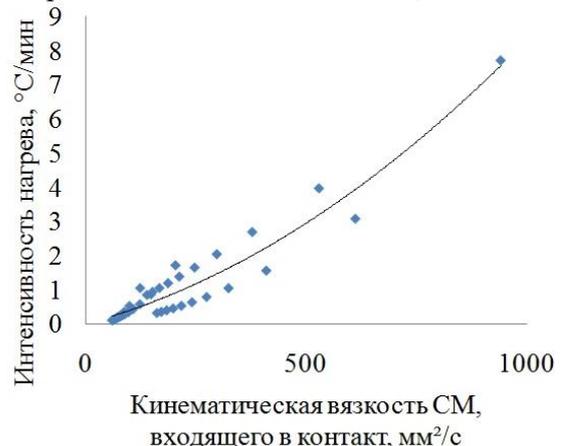


б)

Рисунок 2. Зависимость параметра λ от температуры смазочного материала, поступающего в зону контакта для четырёх классов вязкости смазочного материала а) суммарная скорость качения в контакте 2,9м/с, б) суммарная скорость качения в контакте 7,92 м/с



а)



б)

Рисунок 3. Интенсивность роста температуры в зависимости от KV SM а) суммарная скорость качения в контакте 2,9м/с, б) суммарная скорость качения в контакте 7,92 м/с

Высокая интенсивность роста температуры ведёт к тепловому разогреву под-

шипникового узла до температур, превышающих допустимые значения.

Вопрос компенсации теплового разогрева ПК решается в работе [8] при рассмотрении теплового состояния подшипниковых опор рабочих валков клетей кварто.

Представленные зависимости позволяют выполнить расчёты по выбору класса вязкости минерального масла для конкретных условий эксплуатации подшипниковых опор валков клетей кварто в соответствии с предлагаемым алгоритмом:

1. рассчитывается ресурс ПК с учётом действия на него фактической нагрузки:

$$L_{10} = \left(\frac{C_r}{P_r} \right)^{10/3} \quad (1)$$

где C_r - базовая динамическая радиальная расчётная грузоподъёмность, Н; P_r - эквивалентная динамическая радиальная нагрузка на подшипник, Н.

Величина C_r для роликовых радиальных и радиально-упорных подшипников рассчитывается по формуле:

$$C_r = b_m f_c (iL_{we} \cos a)^{7/9} tgaZ^{3/4} D_{we}^{29/27} \quad (2)$$

где b_m - коэффициент, характеризующий свойства стали с учётом способа её изготовления, значения которого меняется в зависимости от типа и конструкции подшипника, f_c - коэффициент, зависящий от геометрии деталей подшипника, точности их изготовления и материала, L_{we} - длина ролика для вычисления расчётной грузоподъёмности, мм; a - номинальный угол контакта подшипника; Z - число роликов в однорядном подшипнике, число тел качения в одном ряду многорядного подшипника при равном их количестве в каждом ряду; i - число рядов роликов в подшипнике; D_{we} - диаметр ролика, мм. [8];

2. принимается значение коэффициента толщины масляной плёнки режима ЭГД-смазки в пределах 1 до 3 и соответственно, по графику на рисунке 4, находится параметр $A = f(\lambda)$ [9]. Обеспечить максимальный ресурс ПК возможно созданием в них режима ЭГД-смазки;

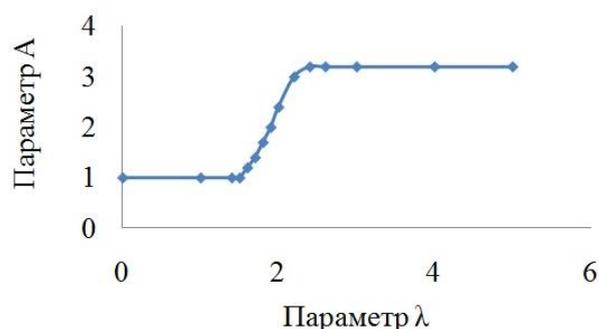


Рисунок 4. Влияние параметра λ на долговечность подшипников качения

3. рассчитывается ресурс с учётом установленного режима трения [9]:

$$L = L_{10} \times A \quad (3)$$

4. определяется необходимая температура смазочного материала, поступающего на контакт, обеспечивающая реализацию заданного режима смазки;
5. осуществляется выбор необходимого класса вязкости, при котором обеспечивается заданный режим смазки

Используя данный алгоритм, была разработана программа для ЭВМ [10], результаты расчётов по которой приведены на рисунке 5-7.

На рисунке 5 приведены результаты расчётов ресурса работы ПК рабочих валков 1-5 клетки стана 2000 ХП ОАО «ММК». Как видно из рисунка, применение СМ КВ 320 (используется на данные момент) приводит к уменьшению ресурса ПК по сравнению с расчётным. Это происходит в результате повышенных температур на контакте тел качения с дорожками качения внутреннего и наружного колец ПК, что приводит к интенсивному разогреву ПК и уменьшению ресурса его работы.

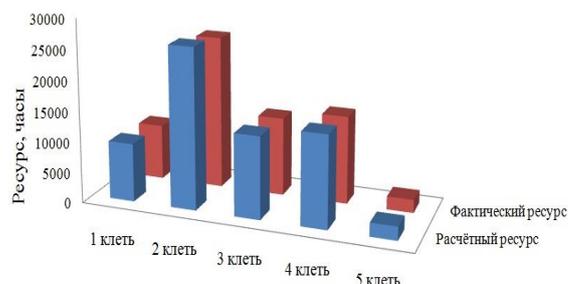


Рисунок 5. Расчётный и фактический ресурс ПК и ресурс при смазывании ПК СМ КВ 320

На рисунках 6-7 приведены диаграммы расчётного ресурса и ресурса ПК при реализации режима ЭГД смазывания.

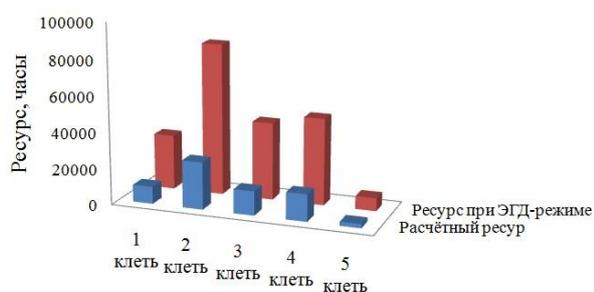


Рисунок 6. Расчётный ресурс и ресурс при реализации ЭГД режима трения для ПК рабочих валков стана 2000ХП

Как видно из рисунков 6-7, реализация ЭГД-режима трения позволит значительно увеличить ресурс работы ПК рабочих и опорных валков стана 2000ХП.

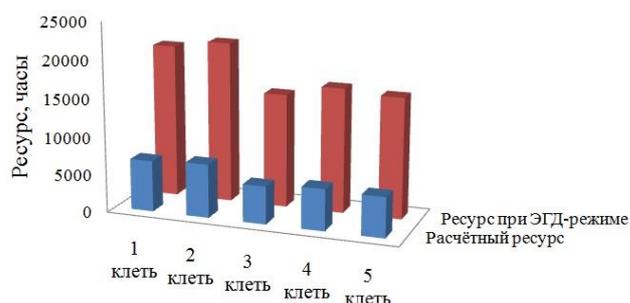


Рисунок 7. Расчётный ресурс и ресурс при реализации ЭГД режима трения для ПК опорных валков стана 2000ХП

С помощью программы по подбору СМ [10], возможно определить какие СМ и при каких параметрах приводят к формированию заданного режим трения.

Параметры СМ для четырёх классов вязкости 100, 220, 320, 460, необходимые для реализации заданного режима трения и полученные посредством программы [10] для удобства приведены в таблице 2

Таблица 2

Параметры СМ, необходимые для создания ЭГД-режима смазывания в ПК подшипниковых опор стана 2000 ХП

Параметры СМ		Подшипники качения	
Параметра	Класс вязкости СМ	Опоры рабочих валков	Опоры опорных валков
Температура подаваемого СМ, °С	100	-	-
	220	не выше 20	не выше 20
	320	не выше 32	не выше 31
	460	не выше 40	не выше 39
Температура на контакте, °С	100	-	-
	220	105-178	102-160
	320	-	-
	460	-	145-177,1
Интенсивность разогрева, °С/мин	100	-	-
	220	9-21,7	10-37,3
	320	-	-
	460	-	6,2-40,6

Таким образом, при исследовании возможности применения минеральных масел различных КВ для смазывания подшипниковых опор рабочих и опорных валков стана 2000 ХП ОАО «ММК» с целью повышения их ресурса можно сделать следующие выводы:

1 реализацию режима ЭГД-смазывания на контакте при смазывании подшипников качения подшипниковых

опор рабочих валков 1-5 клеток стана 2000ХП ОАО «ММК» обеспечивают смазочные материалы класса вязкости 220.

2 реализацию режима ЭГД-смазывания на контакте при смазывании подшипников качения подшипниковых опор опорных валков 1-5 клеток стана 2000ХП ОАО «ММК» обеспечивают смазочные материалы класса

вязкости 220 и 460. Интенсивность разогрева подшипника при смазывании СМ КВ 220 превышает интенсивность разогрева при смазывании СМ КВ 460. Применение СМ КВ 220 является наиболее при обеспечении интенсивное охлаждение подшипникового узла.

Поскольку все подшипниковые опоры стана 2000ХП смазываются одним смазочным материалов, то обобщая выданные рекомендации по смазыванию ПК опор рабочих и опорных валков, можно сделать вывод о том, что наиболее целесообразным для смазывания является СМ КВ 220.

Заключение

Данная методика позволяет определить параметры смазочного материала, такие как класс вязкости, температуру и интенсивность разогрева, необходимые для создания заданного режима трения. В результате анализа полученных параметров становится возможным рациональный выбор СМ, позволяющий в несколько раз повысить ресурс работы подшипников качения.

Данная методика расчёта рекомендуется к использованию в прокатных цехах металлургических предприятий по подбору смазочных материалов для подшипниковых опор клетей кварто, смазываемых системой «масло-воздух».

Библиографический список

1. Жиркин Ю.В., Пузик Е.А. Аналитически-экспериментальное определение параметров ЭГД-смазки в подшипниках качения опор рабочих валков стана 2000 горячей прокатки. // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И.Носова, 2010. № 4, с. 52-56.
2. Жиркин Ю.В., Дудоров Е.А. Повышение ресурса подшипниковых узлов рабочих валков стана 2000 г.п. ОАО «ММК». // Чёрные металлы, 2012. № 11, С.19-23.
3. Платов С.И., Терентьев Д.В., Жиркин Ю.В., Мироненков Е.И., Мезин И.Ю. Исследование и разработка режимов смазывания подшипниковых узлов рабочих валков стана 2000

горячей прокатки // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И.Носова, 2012. №2. С88-100.

4. Жиркин Ю.В., Мироненков Е.И., Дудоров Е.А. Физическое моделирование режима смазки подшипниковых узлов рабочих валков прокатных станов. // Известия ВУЗов. Чёрная металлургия. 2007 №4. С 54-56.
5. Жиркин Ю.В., Мироненков Е.И., Дудоров Е.А. Работоспособность подшипников качения рабочих валков чистой группы клетей стана горячей прокатки при их смазывании системой «масло – воздух» // Тяжёлое машиностроение. 2007 №2. С.19-20.
6. Жиркин Ю.В., Дудоров Е.А., Паршин П.Р. Модернизация подшипникового узла с целью продления его ресурса // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И.Носова, 2007 №4. С 94-96
7. Справочник по триботехнике: В 3 т. Т.2: Смазочные материалы, техника смазки, опоры скольжения и качения / Под общ.ред. М. Хебды, А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 1990.-416с.: ил.
8. Жиркин Ю.В., Султанов Н.Л., Мироненков Е.И. Управление тепловым состоянием подшипниковых опор, смазываемых системой «масло-воздух» на стане-тандем 2000 холодной прокатки ОАО «ММК»// Сталь, № 4. ,2014, С 71-73
9. ГОСТ 19855-94 (ИСО 281-89) Подшипники качения. Динамическая грузоподъёмность и расчётный ресурс (долговечность). М.: Стандартинформ, 2009,20с.
10. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2014613371 Автоматизированный расчёт температуры смазочного материала, поступающего в подшипниковые опоры рабочих валков клетей кварто / Е.А. Пузик, Ю.В. Жиркин // БПБТ 2014 г. №4