

В.В. Аулин

Кировоградский национальный технический университет

Влияние комбинированного физико-химического модифицирования моторного масла на изменения момента трения и потребляемой мощности в сопряжениях образцов и деталей

Аннотация. Представлены результаты экспериментальных исследований влияния комбинированного модифицирования моторных масел М10Г₂к и М10-ДМ, при внесении в них присадок ("Ниод-5", "Roild Gold", глицерата меди, "КГМТ-1") и обработке электрическим и магнитным полями, на момент трения и потребляемую мощность в сопряжениях образцов и деталей. Испытания проведены в непрерывном и "пуск-остановка" режимах при фиксированном, ступенчатом и непрерывном нагружении и разгрузении трибосопряженных образцов, а также деталей компрессора Forte-24. Выявлены закономерности изменения момента трения и гистерезисные явления при изменении потребляемой мощности.

Ключевые слова: момент трения, потребляемая мощность, присадка, электрическое и магнитное поля, модифицирование моторного масла, трибосопряжение, дизель.

V. V. Aulin

Kirovograd national technical university

Influence of the combined physical and chemical modification of motor oil on the changes of moment of friction and power consumption in the tribounit of models and details

Annotation. The results of experimental researches of influence of the combined modification of motor oils of M10Г₂к and M10-ДМ are presented, at bringing in them additives ("Ниод-5", "Roild Gold", glycerate of copper, "КГМТ-1") and to treatment electric and magnetic the fields, on a moment of friction and power in the tribounit of models and details. Tests are conducted in continuous and "starting-stop" modes at the lading fixed, step and continuous and discharged tribounits models and details of compressor of Forte-24. Conformities to law of change of moment of friction and hysteresis phenomena are educed at the change of power consumption.

Keywords: moment of friction, power consumption, additive, electric and magnetic the fields, modification of motor oil, tribounit, diesel.

В.В. Аулин, канд. физ.-мат. наук

(Кировоградский национальный технический университет, Кировоград, Украина)

Влияние комбинированного физико-химического модифицирования моторного масла на изменения момента трения и потребляемой мощности в сопряжениях образцов и деталей

Сложные условия эксплуатации дизелей мобильной и автотракторной техники в сельскохозяйственном производстве обуславливают высокие удельные нагрузки в трибосопряжениях и интенсивный износ деталей [1]. Характер приложенных нагрузок вызывает переменные потери механической энергии на преодоление сил трения в трибосопряжениях, которые для цилиндропоршневой группы составляют 45...50%, а подшипников кривошипно-шатунного механизма – 22...24% [2]. Это объясняется прежде всего условиями работы двигателя: высокие удельные нагрузки и температуры в зоне остановки компрессионных колец; возвратно-поступательный характер движения поршня, что делает невозможным гидродинамический режим смазки в зонах верхней и нижней мертвых точек; развитая площадь поверхности трения поршня и др.

Анализ баланса механических потерь в дизелях показал, что их снижение в ЦПГ позволяет повысить технико-экономические показатели [3]. Кроме этого, от продолжительности приработки поверхностей трения ЦПГ существенно зависит период нормальной работы дизеля, а также наступления его граничного состояния. Указанные обстоятельства дают основания для разработки методов модифицирования масел и рабочих поверхностей деталей с целью уменьшения механических потерь, ускорения процесса приработки сопряжений, увеличение долговечности деталей и дизеля в целом.

Существует целый комплекс разнообразных функциональных присадок и добавок к моторным маслам [4], однако не выявлены закономерности их взаимодействия между собой и рабочими поверхностями деталей сопряжений из-за наличия сложных и до конца не изученных пограничных переходных процессов, чтобы можно было прогнозировать работоспособное состояние двигателя и срок замены масла.

Наиболее перспективным методом повышения долговечности дизелей является комбинированное физико-химическое модифицирование моторного масла внесением присадок и обработкой физическими полями [3] (электрическое, магнитное и др.).

Целью данной работы является изучение влияния комбинированного физико-химического модифицирования моторного масла на изменения момента трения и потребляемой мощности в сопряжениях образцов и деталей.

Методика экспериментальных исследований.

Автоматизированное определение момента трения трибосопряжений образцов деталей ЦПГ дизеля проводили на измерительном комплексе, общий вид и схема которого представлены на рис. 1.

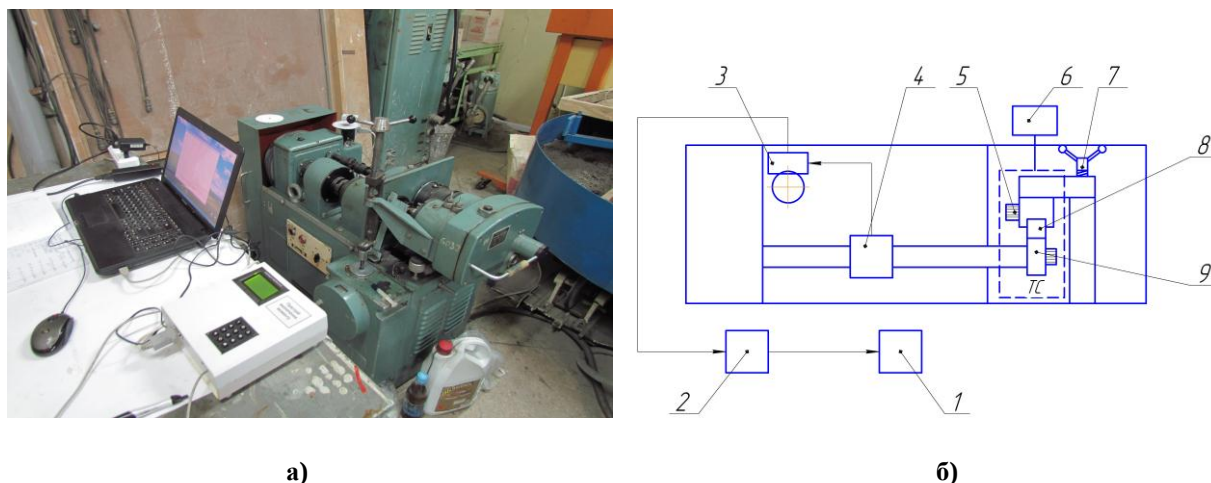


Рис. 1. Общий вид (а) и схема (б) измерительного комплекса для определения момента трения: 1 – персональный компьютер; 2 – электронный блок определения момента трения; 3 – микросхема с датчиком оборотов вала для обработки и передачи электрических сигналов; 4 – датчик момента трения; 5 – фиксирующее устройство; 6 – устройство для подачи масла в зону трения; 7 – нагружающее устройство; 8 – колодочка с датчиком для измерения температуры; 9 – ролик

Обработка и вывод информации на монитор ПК осуществляется через RS-232 порт с учетом времени и режимов работы машины трения. Платы разрабатывались при помощи пакета программы "P-CAD". Программа контроллера состоит из одного уровня программирования, а программа вывода информации на монитор ПК из трех уровней: начального, на котором обрабатываются данные, что приходят с контроллера; уровня фиксации время; уровня непосредственного построения графиков зависимости момента трения от продолжительности испытаний. Программы контроллера и вывода информации на монитор представлены на язык C++.

Исследованию подвергали базовые и модифицированные добавлением присадок "Ниод-5", "Roil Gold", глицерата меди $\text{Cu}_3(\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_3)_2$ и разработанной присадки "КГМТ-1" [5], моторные масла М10Г₂к и М10-ДМ. В зону трения масло подавали в капельном режиме. Измерения проводили и при сухом трении сопряжения "колодочка-ролик".

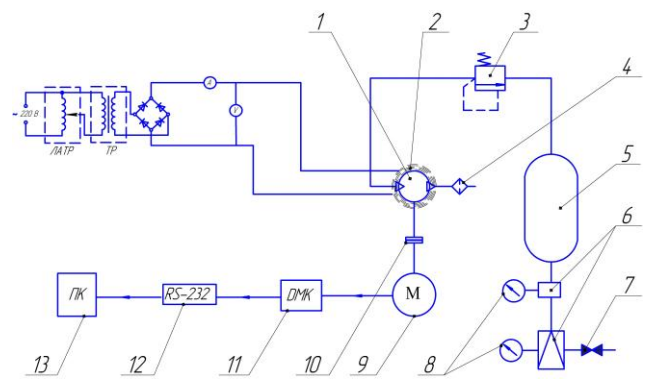
До и после каждого испытания образцы обезжиривали и протирали спиртом. Испытывали образцы в двух режимах: непрерывном и "пуск-остановка". Усилия на сопряжения образцов задавали в интервале (5...80) Н. Измерения момента трения проводили в условиях фиксированной, нарастающей и спадающей нагрузок.

При помощи клавиатуры электронного блока в его меню вводили интервал работы сопряжения от 50 с до 3600 с и больше, а также фиксировали продолжительность паузы в режиме "пуск-остановка". Частота вращения ролика в различных режимах испытаний оставалась постоянной: $n=2,5 \text{ с}^{-1}$.

Оценку эффективности влияния комбинированного физико-химического модифицирования моторного масла на сопряжения деталей компрессора Forte-24 проводили на автоматизированном испытательном комплексе (рис. 2).



а)



б)

Рис. 2. Общий вид (а) и принципиальная схема (б) испытательного комплекса сопряжений деталей компрессора Forte-24: 1 – компрессор; 2 – магнитоактиватор; 3 – обратный клапан; 4 – воздушный фильтр; 5 – ресивер; 6 – редукционный клапан; 7 – выходной клапан; 8 – манометр; 9 – электродвигатель; 10 – вал привода компрессора; 11 – аналого-цифровой преобразователь; 12 – интерфейсный модуль; 13 – персональный компьютер

При исследовании механических потерь в сопряжениях компрессора Forte-24 и режимов трения в них использован универсальный прибор "цифровой мультиметр ДМК-32" для измерений, контролирования, сохранения и передачи на компьютер параметров одно-, дво-, и трехфазных сетей. Прибор измеряет напряжения, ток, мощность – активную, реактивную, полную, коэффициент мощности $\cos \varphi_i$, частоту, гармоники тока и напряжения. Для работы программы дистанционного управления ПК и ДМК соединены через последовательный "Интерфейс RS-232".

Способом нагружения поршневого компрессора Forte-24 служит ресивер, в котором редукционным клапаном изменяли давление в диапазоне (0...0,5) МПа через каждые 0,1 МПа, с выдержкой в данном режиме на протяжении $3,6 \cdot 10^3$ с и более.

Для проведения испытаний использовали базовые и комбинированно модифицированные, указанными присадками и обработкой постоянным электрическим (в диапазоне напряженностей $((0,5 \dots 5,0) \cdot 10^6$ В/м) и магнитным (в диапазоне напряженностей $(1,0 \dots 4,0) \cdot 10^3$ А/м) полями, моторные масла М10Г₂к и М10-ДМ. Напряженность указанных полей регулировали, изменяя величину силы тока и напряжения в устройствах для обработки масла [Патенты Украины: №№ 9496, 45786, 69658, 74659].

Мощность, потребляемую компрессором, определяли во время испытаний при фиксированном, ступенчатом и непрерывном увеличении и уменьшении нагружения. Рассматривали зависимости мощности трения от продолжительности испытаний и уровня давления в системе. В ходе испытаний компрессора отбирали пробы масла и проводили его анализ с определением состава, основных физико-химических показателей и свойств.

Результаты экспериментальных исследований.

Характерные изменения момента трения при фиксированной нагрузке в непрерывном режиме и режиме "пуск-остановка" при сухом трении и подаче моторного масла в зону трения приведены на рис. 3.

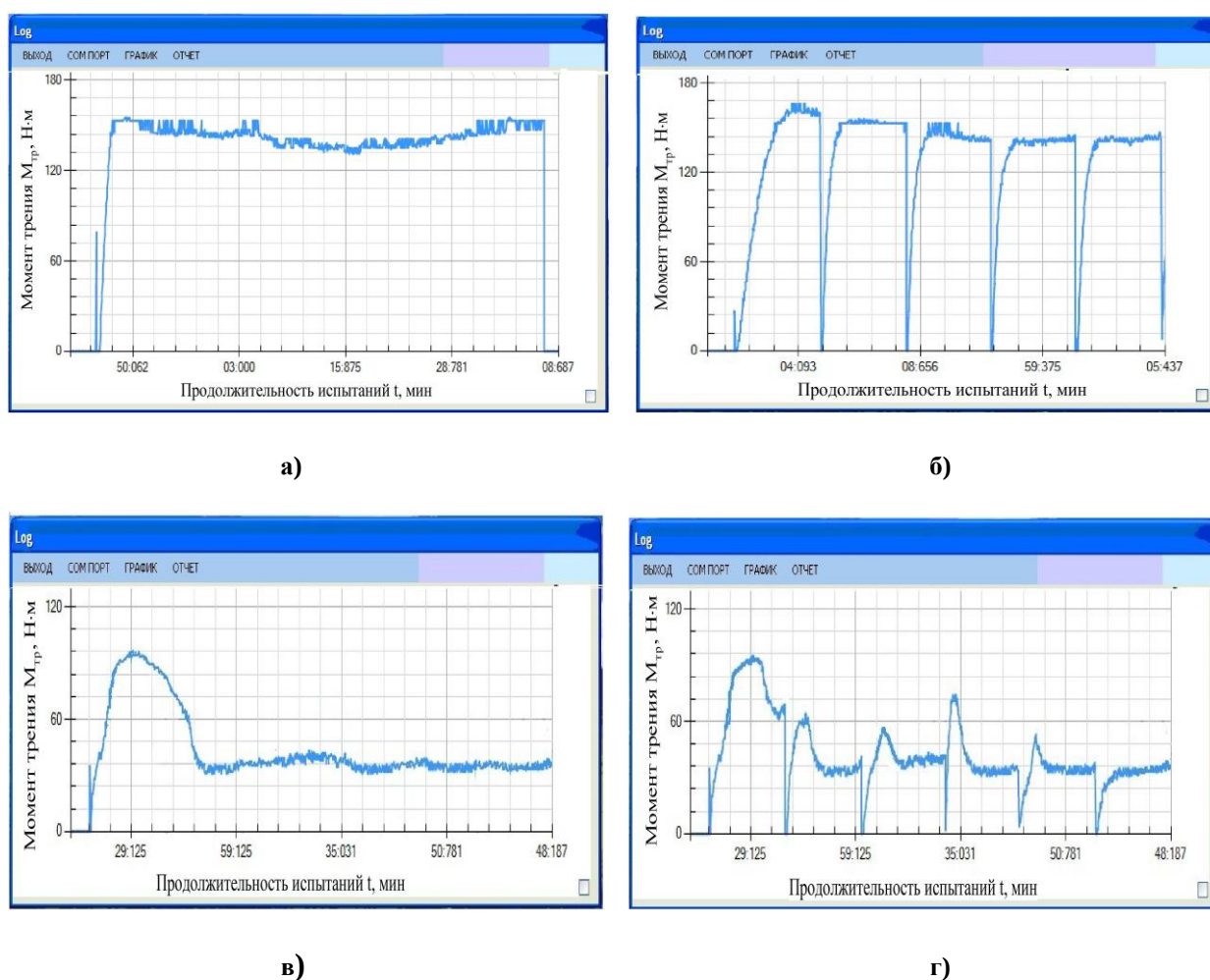


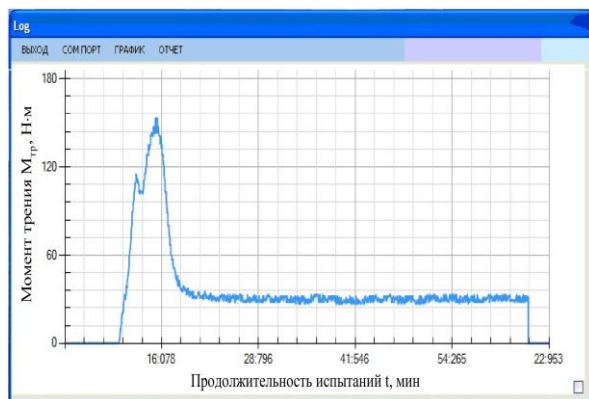
Рис. 3. Изменение момента трения с течением времени при фиксированной нагрузке ($N=20\text{ Н}$) для сухого трения (а, б) и смазке моторным маслом М10Г₂К (в, г) в непрерывном режиме (а, в) и режиме "пуск-остановка"

Анализ полученных результатов свидетельствует, что при сухом трении в непрерывном режиме работы трибосопряжения образцов (рис. 3 а) максимальная величина момента трения практически не изменяется, но с увеличением наработки наблюдается некоторое увеличение его величины. В режиме "пуск-остановка" при сухом трении (рис. 3 б) максимальный начальный момент трения имеет тенденцию к увеличению на 10 ... 15%. На последующих интервалах испытаний уровень величины момента трения практически совпадает с его уровнем в непрерывном режиме.

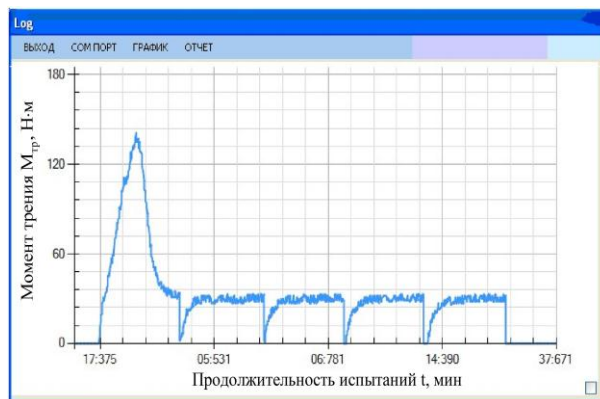
Подача масла М10Г₂к в зону трения в непрерывном режиме испытания (рис. 3 в) начальное максимальное значение момента трения уменьшает в 1,3 ... 1,7 раза, а при реализации процесса приработки в 3,5 ... 5,0 раз. Смазка базовым маслом в режиме "пуск-остановка" (рис. 3 г) на каждом из интервалов испытаний сопряжения образцов уменьшает величину начального пика момента трения и по истечению нескольких периодов испытаний пик момента трения исчезает. Минимальный уровень момента трения при исследованных режимах испытаний с использованием смазки практически одинаков и свидетельствует о приработке образцов.

Аналогичные закономерности изменения момента трения наблюдается и при подаче в зону трения масла М10-ДМ. Вместе с тем, по сравнению с испытаниями на масле М10Г₂к, наблюдается снижение на 2...5% величин пика и уровня момента трения при приработке, что свидетельствует о влиянии различий исходных составов масел.

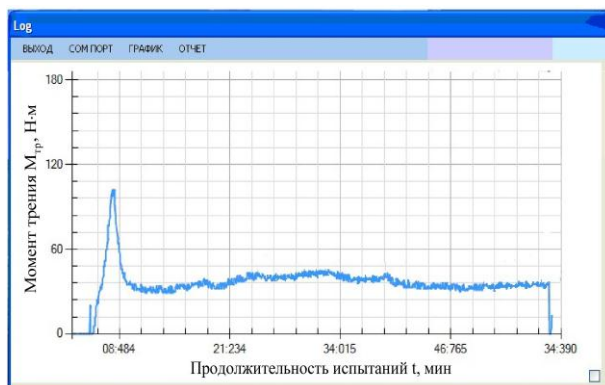
Закономерности изменения момента трения сопряжения образцов "колодочка-ролик" при смазке маслом М10Г₂к с добавлением присадок при испытаниях в непрерывном режиме и режиме "пуск-остановка" приведены на рис. 4.



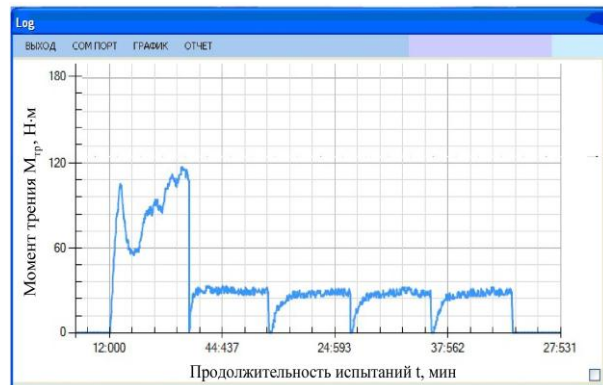
а)



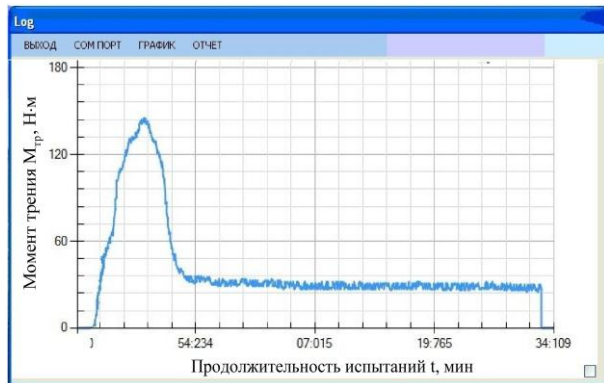
б)



в)



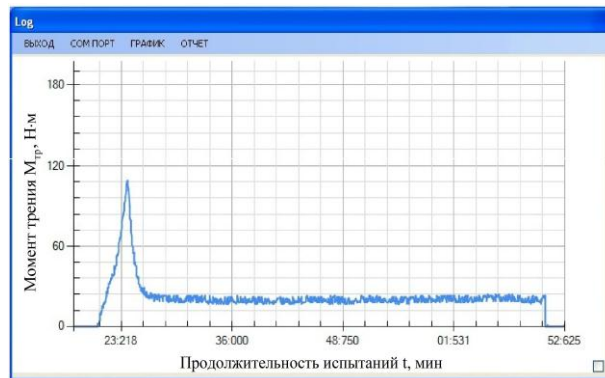
г)



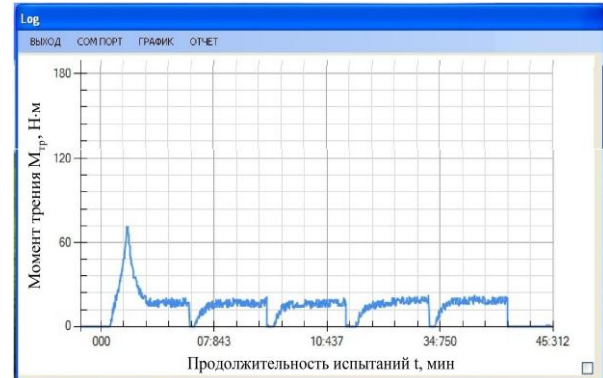
д)



е)



ж)



з)

Рисунок 4 - Характерные кривые изменения момента трения в сопряжениях образцов при испытаниях на фиксированной нагрузке ($N=20\text{ Н}$) и смазке моторным маслом с использованием присадок "Ниод - 5" (а, б), "Roil Gold" (в, г), глицерата меди (д, е), "КГМТ-1" (ж, з) в непрерывном (а, в, д, ж) и "пуск-остановка" (б, г, е, з) режимах испытаний

Можно видеть, что пиковые начальные моменты трения при испытаниях на масле с исследуемыми присадками меньше по величине и по ширине, что свидетельствует о положительном эффекте на начальной стадии приработки и об ее ускорении по сравнению с результатами исследований полученным на базовой моторном масле (рис. 3, в, г).

Существенным при фиксированной нагрузке является отсутствие пиков в последующие периоды испытаний в режиме "пуск-остановка".

Кроме этого в ходе экспериментальных исследований выявлено, что начальные пики момента трения по величине и ширине отличаются в зависимости от типа присадки, ее концентрации и режимов испытаний. В режиме "пуск-остановка" несколько уменьшается уровень величины момента трения при приработке. Внимания заслуживает и тот факт, что предложенная дешевая присадка КГМТ - 1 по триботехническим характеристикам не уступает таким присадкам как "Ниод -5", "Roil Gold" и глицерат меди.

Изменения момента трения при различных фиксированных нагрузках и использования присадки глицерата меди приведены на рис. 4, д, е и рис. 5, а, б.

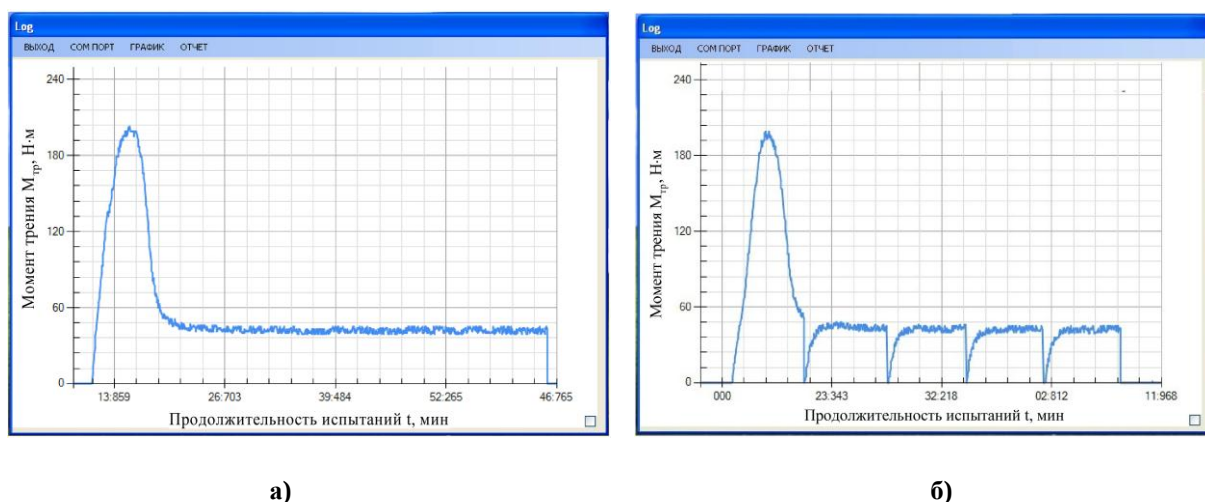


Рис. 5. Зависимость момента трения сопряжения образцов от наработки на масле с присадкой глицерата меди (а) и "пуск-остановка" (б) режимах при нагрузке 40 Н

Результаты исследований показали, что при постоянной концентрации присадки КГМТ-1 с увеличением нагрузки в 2 раза увеличивается начальный пик момента трения, уменьшается его ширина, что свидетельствует об ускорении приработки образцов, и увеличивается уровень момента трения в условиях приработки в различных режимах испытаний.

Аналогичные исследования момента трения проведены и при комбинированном модифицировании добавлением присадок в масло и последующей обработкой постоянными электрическим или магнитным полем. Выявлено, что при подаче в зону трения модифицированного масла наблюдалась тенденция уменьшения первоначального пика и уровня момента трения в процессе приработки: при использовании электрического поля на 8...15 %, а магнитного поля - на 8...18 %. Наилучший эффект наблюдали при диапазонах напряженности электрического поля $(0,9...1,3) \cdot 10^6$ В/м и магнитного поля $(2,0...3,5) \cdot 10^4$ А/м. Проведенные исследования закономерностей изменения момента трения свидетельствуют о его существенной компенсации при использовании комбинированного модифицирования моторного масла.

В работе проведены исследования зависимости потребляемой мощности компрессором Forte-24 от продолжительности испытаний при его нагружении и разгрузении в различных режимах с использованием масел, подвергнутых комбинированному модифицированию. Результаты исследований при фиксированной нагрузке представлены на рис. 6.

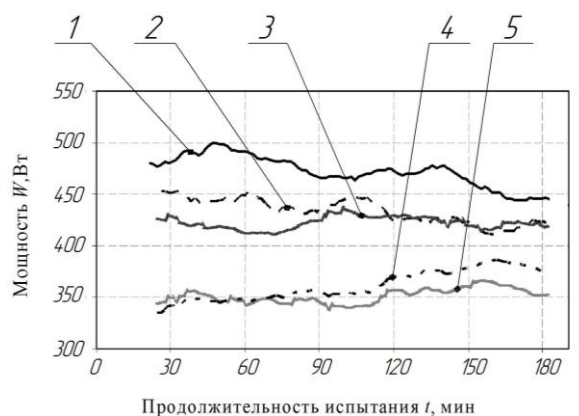


Рис. 6. Изменения потребляемой мощности компрессором от продолжительности испытаний при постоянной нагрузке $P_1=0,3$ МПа: 1 - базовое моторное масло М10Г₂ж; масло с присадками: 2 – "Roil Gold"; 3 – "Ниод-5"; 4 – глицерат меди; 5 – "КГМТ-1"

Можно видеть, что внесение в масло присадок понижает потребляемую мощность в зависимости от типа присадок их состава и концентрации. После уменьшения действия присадок уровень потребляемой компрессором мощности возрастает.

Результаты исследования потребляемой мощности компрессором трения при его ступенчатом нагружении и разгрузении во времени при использовании комбинированного модифицированного масла приведены на рис. 7.

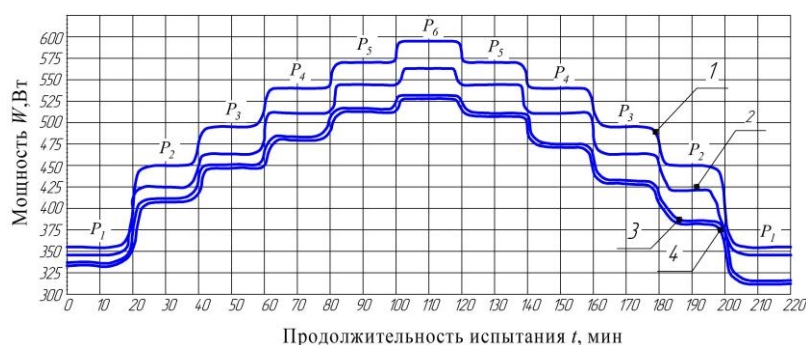


Рис. 7. Изменение мощности потребляемой компрессором во времени при его ступенчатом нагружении и разгрузении: 1 – базовое масло М-10ДМ; 2 – масло с добавлением присадки "КГМТ-1"; 3 – масло с добавлением присадки "КГМТ-1" и обработке электрическим полем ($E=1,25 \cdot 10^6$ В/м); 4 – масло с добавлением присадки "КГМТ-1" и обработке магнитным полем ($H=2,5 \cdot 10^4$ А/м)

Можно видеть, что изменения потребляемой компрессором мощности зависит как от характера процесса его нагружения и разгрузки, так и от вида модифицирования масла. Следует отметить, что потребляемая мощность снижается на 11...18 % при внесении присадки в масло, а также наблюдается дальнейшее ее снижение при комбинированном модифицировании масла с использованием электрического поля на 5...10 %, а магнитного – 7...12 %.

Зафиксировано различный уровень мощности на начальном этапе нагружения и конечном этапе разгрузки для немодифицированного масла на последнем выше на 2...8 %, а для модифицированного – ниже на 3...15 %. Более наглядно результаты

исследований потребляемой мощности при процессах нагружения и разгрузки компрессора представлены на рис. 8.

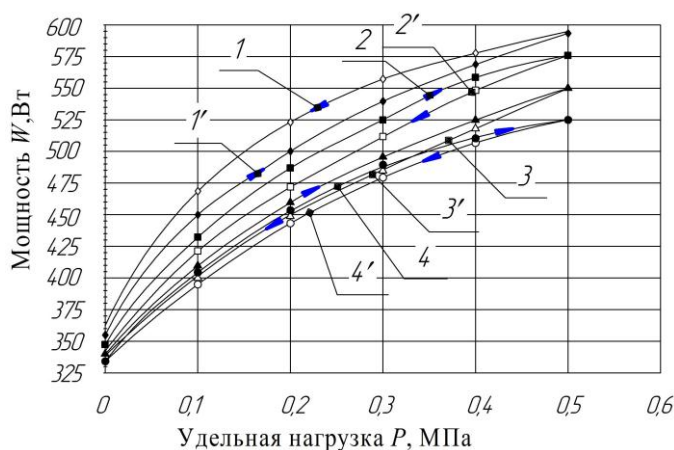


Рис. 8. Зависимость мощности, потребляемой компрессором, от удельной нагрузки: 1-4 процессы нагружения; 1'-4' – процессы разгрузки; 1, 1' – базовое масло; 2, 2' – масло, модифицированное присадкой "КГМТ-1"; 3-3' – масло, подвергнутое комбинированному модифицированию с использованием электрического поля ($E=1,25 \cdot 10^6$ В/м); 4-4' – масло, подвергнутое комбинированному модифицированию с использованием магнитного поля ($H=2,5 \cdot 10^4$ А/м)

Характерным для испытаний на базовом масле является некоторое увеличение потребления мощности компрессором в режиме разгрузки системы по сравнению с режимом нагружения. В то время для случаев физико-химического модифицирования масла в таких условиях кривые мощности при разгрузке идут ниже кривых мощности для нагружения, т.е. наблюдаются гистерезисные явления потребляемой мощности. Выявлено, что на протекание гистерезисных явлений влияют тип и концентрация присадок, уровень напряженности постоянных электрического и магнитного полей. Различия в исходных и конечных положениях потребления мощности в испытаниях в некоторой мере размыкают кривые мощности при нагружении и разгрузки компрессора и зависят от типа и концентрации присадок, их химического состава.

Выводы

1. Разработанные измерительные комплексы и методика экспериментальных исследований дают возможность автоматизированного определения момента и мощности трения трибосопряжений образцов и деталей.

2. Установлено закономерности изменения момента трения сопряжения образцов "ролик-колодочка" при фиксированной нагрузке в режиме сухого трения, смазки моторным маслом М10Г2К и М-10 ДМ с внесением и без внесения присадки, с обработкой и без обработки масла электрическим или магнитным полем в непрерывном и "пуск-остановка" режимах испытаний. Выявлено, что наблюдаемый положительный эффект от комбинированного модифицирования моторного масла в некоторой степени компенсирует величину момента трения.

3. Установлено, что на потребляемую мощность компрессора Forte-24 влияют как тип присадок, их состав и концентрация внесенных в моторное масло, так и обработка масла физическим полем (электрическое, магнитное) в режиме фиксированного, ступенчатого и непрерывного нагружения и разгружения. Зафиксированы гистерезисные влияния потребления мощности компрессором.

Библиографический список

1. Аулін В.В., Лисенко С.В., Кузик О.В. Підвищення експлуатаційної надійності машин шляхом модифікування моторної оливи // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства: - Вип. 100. Проблеми надійності машин та засобів механізації сільськогосподарського виробництва. – Харків. – 2010. – С. 127 – 133.

2. Путинцев С.В. Механические потери в поршневых двигателях. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 288 с.

3. Александров Е.Е., Кравец И.А., Лысиков Е.П. Повышение ресурса технических систем путем использования электрических и магнитных полей: монография. – Х.: ХТУ "ХПИ", 2006. – 544 с.

4. Погодаев Л.И., Кузьмин В.Н., Нахимович Е. Влияние присадок к смазочным маслам на износостойкость трибосопряжений // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2002. - № 4. – С. 63-74.

5. Патент 81598 Україна. Припрацювальна мастильна композиція / Аулін В.В., Слонь В.В., Лисенко С.В., Голуб Д.В.; заявник і патентоотримувач Кіровоградський національний технічний університет. - № 81598/13; заявл. 06.12.2012; опубл. 10.07.13, Бюл. № 13.