

**З. ТКАЧ**, к.т.н., проф., кафедра транспорта и управления технического факультета Словацкого сельскохозяйственного университета в Нитре, Словакия;  
**Ю. РУСНАК**, к.т.н., проф., кафедра конструирования машин технического факультета Словацкого сельскохозяйственного университета в Нитре;  
**М. КАДНАР**, к.т.н., доц., кафедра конструирования машин технического факультета Словацкого сельскохозяйственного университета в Нитре

### ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАСЛА ГИКОМОЛ СИНТ 75W-90 ДЛЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ

Статья анализирует трибологические свойства скользящего узла, смазанного разными видами масла. Целью статьи было описать основные трибологические свойства избранных скользящих материалов в комбинации с маслом минеральным и синтетическим. Авторы статьи сосредоточились на универсальных маслах, которые можно применить как в передаточных, как и в гидравлических механизмах. Для избранных скользящих материалов (пара CuSn 10 и сталь 12 050) авторы осуществили эксперименты с минеральным маслом PP80 (эталонное) и синтетическим маслом MOL Гикомол Синт 75W-90. Результатом является определение предпочтительности исследованных масел для применения в технической практике.

Стаття аналізує трибологічні властивості вузла ковзання, змащеного різними видами масла. Метою статті було описати основні трибологічні властивості обраних ковзних матеріалів в комбінації з маслом мінеральним і синтетичним. Автори статті зосередились на універсальних маслах, які можна застосувати як в передавальних, як і в гідравлічних механізмах. Для обраних ковзних матеріалів (пара CuSn 10 і сталь 12 050) автори здійснили експерименти з мінеральним маслом PP80 (еталонне) і синтетичним маслом MOL Гікомол Синт 75W-90. Результатом є визначення переваги досліджених масел для застосування у технічній практиці.

The paper analyzes tribological properties of the slipping node lubricated with different aspects of oil. The paper purpose was to describe the basic tribological properties of the selected slipping materials in a combination with oil mineral and synthetic. Authors of paper concentrated on universal oils which can be applied as in transmitting, as well as in hydraulic mechanisms. For the selected sliding materials (steel CuSn 10 and a steel 12 050) authors carried out experiments with mineral oil PP80 (standard) and synthetic oil MOL Gikomol Sint 75W-90. Result is definition of preference of the examined oils for application in technical practice.

**Введение.** Понижение трения и изнашивания посредством смазки в последнее время дополняется экологизацией использованной смазки. В области сельскохозяйственных машин надо уделять внимание утечкам смазочного масла в почву, прежде всего в подземные воды. Основная часть утечек происходит из-за неплотности или повреждений гидравлических и передаточных систем мобильных рабочих средств. Из-за этого также надо стремиться, чтобы масло вместе с техническими требованиями к жидкости высокого давления выполняло и строгие экологические требования. Упор сделан на применение универсальной смазки, т.е. пригодной как для гидравлических систем, так и для смазки передач.

**Материал и методы.** Способ смазывания избран на основе лабораторных экспериментов, целью которых было проверить альтернативы испытательных условий для измерения с биоразлагаемыми маслами, и на основе приобретенных данных оценить поведение скользящей пары в определенных условиях экспери-

мента. Эксперименты осуществились на обновленной испытательной машине Триботестор М06. Испытательные образцы в форме пластинок с размерами 20×20×5мм были изготовлены из материала CuSn10 с помощью технологии пламеннопорошкового огневого напыления. Второй элемент скользящей пары – вал, был замещен втулкой, изготовленной из материала 12 050. Втулка была после запрессовки на испытательный вал перешлифована на круглошлифовальном станке до шероховатости  $R_a \leq 0,5$ . Расположение скользящего узла подробнее дает рисунок 1.

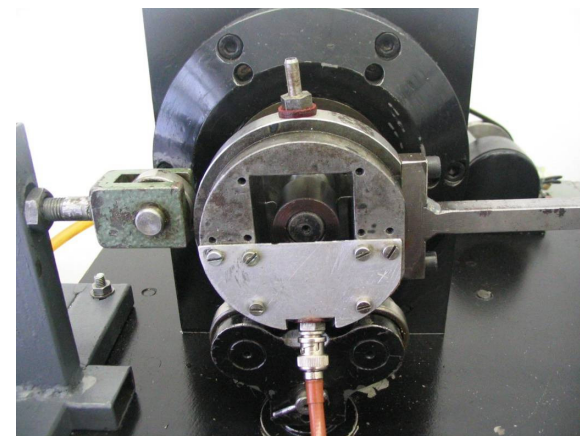


Рисунок 1 – Испытательный скользящий узел

Скользкий узел подлежал процессу заедания – в соответствии с оформленной методикой

нормы STN 02 3420. Целью этого краткосрочного процесса было установление изменений эксплуатационной температуры  $t$  и коэффициента трения  $\mu$  в зависимости от градуированной удельной нагрузки  $p$  (давления) при постоянной скорости скольжения  $v$ . Смазывание осуществлялось с помощью гидродинамического способа с зарядом 7 мл.

Обкатка осуществлялась в следующих условиях:  $n=143 \text{ мин}^{-1}$ ,  $F_N=200 \text{ Н}$ ,  $L=60 \text{ мин}$ . После обкатки произошел процесс заедания. Нагрузку мы повышали постепенно, не смотря на стабилизацию измеряемых величин, на  $\Delta F_N=200 \text{ Н}$  каждые 10 минут.

Испытательный процесс был закончен, когда:

- произошло заедание поверхностей трения и блокировка скользящего узла;
- поднялась температура подшипника до критического значения, в нашем случае  $90^\circ \text{C}$ .

Результаты экспериментов, осуществленных с целью выбора способа смазывания, приведены в разделе "результаты и дискуссия".

Для смазывания скользящей пары были использованы масла: PP80 (эталонное) и Гикомол Синт 75W-90.

**Характеристика масла PP80.** Трансмиссионное масло Мадит PP80 – это минеральное масло, которое содержит ингредиенты для повышения грузоподъемности смазочной пленки. Масло предназначено для смазывания механических коробок передач и распределительных механизмов (за исключением гипоидных) автомобилей и мобильных механизмов, подвергающихся низким температурам.

Спецификации: класс вязкости SAE 80W;  
 профиль производительности API GL-4.

Таблица 1 – Физико-химические свойства масла Мадит PP80

PN 25-484-97		
Плотность при 20°C, кг/м <sup>3</sup>	информативно	65
Кинематическая вязкость при 100°C	по крайней мере	7,5
Динамическая вязкость при -26°C (CCS), Pa.s	наиболее	150
Индекс вязкости	по крайней мере	82
Точка потока, °C	наиболее	-30
Точка вспышки, °C	по крайней мере	170
FZG тест A/20/90/8,3, неудовлетворительная степень нагрузки	информативно	12

Таблица 2 – Физико-химические свойства масла МОЛ Гикомол Синт 75W-90

Класс вязкости	SAE 75W-90
Профиль производительности	API GL-5
Вязкость при 40°C, мм <sup>2</sup> ·с <sup>-1</sup>	93
Вязкость при 10°C, мм <sup>2</sup> ·с <sup>-1</sup>	14,4
Плотность при 15°C, г·см <sup>-3</sup>	0,9
Точка потока, °C	-45

ратуры и коэффициента трения для избранных (характеристических) скользящих поверхностей (измерение Но7), смазанных маслом PP 80.

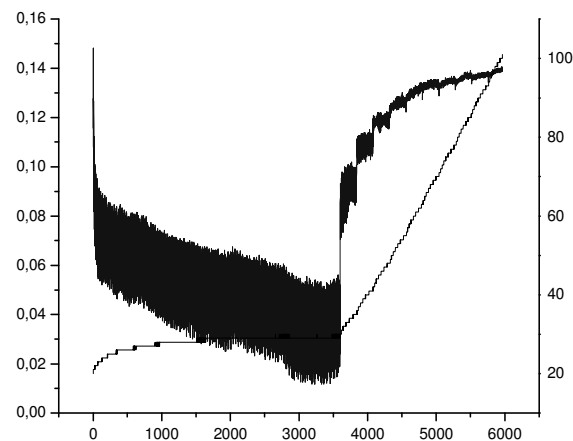


Рисунок 2 – Временная зависимость хода оценки температуры и коэффициента трения с маслом PP80

трения в данном этапе эксперимента была в диапазоне 0,15 до 0,06.

Во время следующего этапа пробного пуска область характеризуется интервалом времени 900-3600 секунд, величина температуры не изменялась, во время этого этапа эксперимента величина коэффициента трения постоянно понижалась от 0,06 до 0,03.

*Характеристика масла Гикомол Синт. 75W-90. МОЛ Гикомол Синт 75W-90 – высококачественное масло для ступенчатых коробок передач, содержащее синтетические элементы с EP ингридентами. Применяется весь год, прежде всего для смазки автомобильных коробок передач (ручные коробки передач, дифференциалы, оси транспортного средства) и управляющих механизмов.*

### Результаты и дискуссия.

**Результаты испытаний масла PP80.** В диаграмме на рисунке 2 приведены временные зависимости нефилтрированных величин температуры

и коэффициента трения для избранных (характеристических) скользящих поверхностей (измерение Но7), смазанных маслом PP 80. Из анализа изменения параметров во время эксперимента можно констатировать, что во время первой части пробного пуска скользящего уложения – временной период 0 до 900 секунд, температура немного возросла и достигла оценки в диапазоне 20°C до 24°C. Начальное повышение температуры связано с созданием направляющего паза и операцией уложения в области граничного трения и смешанного трения. Оценка коэффициента

После приблизительно 10 минут ход эксперимента во время пробного пуска считается устойчивым, причем величина коэффициента трения постоянно понижалась.

После перехода в нагрузочную часть эксперимента немедленно произошло повышение коэффициента трения и почти линейный рост температуры. Этот прыжок видим также при следующих шагах, но его интенсивность снижается и постепенно исчезает. Со второй половины нагрузочной части эксперимента кривая опять становится непрерывной.

Следующий этап эксперимента по приведенной методике характеризовался гладким повышением нагрузки с интенсивностью 200Н каждые 4 минуты независимо от фиксации измеряемых параметров и при постоянной скорости вала.

После перехода в нагрузочную часть эксперимента немедленно произошел прыжковый рост коэффициента трения, который сопровождался линейным ростом температуры в зависимости от времени. Из анализа следующего изображения записи изменения зависимостей очевидно, что каждый следующий рост нагрузки сопровождается немедленным прыжковым изменением коэффициента трения, и в следующих изменениях величина интенсивности понижается до постепенного исчезновения. Оценка коэффициента трения в данном этапе эксперимента была в диапазоне 0,08 до 0,14.

В рамках анализа потери веса у примененного масла PP80 были отмечены потери в диапазоне 0,01-0,06мг.

На рисунке 3 изображен феррограф частиц износа, который был получен с помощью феррографического анализа с маслом PP80. По атласу частиц износа это типичные частицы т.н. положительного клейного употребления. Частицы характеризованы узкой длинной формой, без аномалий в виде разных форм и размеров.

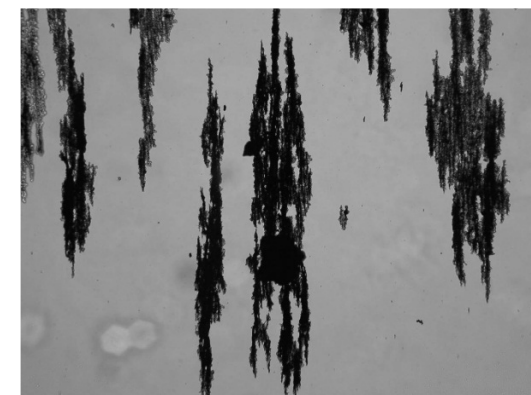


Рисунок 3 – Феррограф масла PP80

**Результаты испытаний масла Гикомол Синт 75-90.** Вторым маслом, использованным при экспериментах, было масло Гикомол, стандартный представитель синтетических масел, применяемых в сельском хозяйстве.

В диаграмме на рисунке 4 приведены временные зависимости нефилтрированных оценок температуры и коэффициента трения для избранного скользящего уложения, смазываемого маслом Гикомол.

Из анализа изменения параметров оценки во время эксперимента можно констатировать, что во время первой части пробного пуска скользящего уложения – временной период от 0 до 500 секунд, температура немного возросла и достигла величин в диапазоне от 19°C до 20°C. Оценка коэффициента трения на

данном этапе эксперимента была в диапазоне 0,13-0,03. Во время следующего этапа пробного пуска, область характеризуется интервалом времени 500-3600 секунд, величина температуры не изменялась, во время этого этапа эксперимента

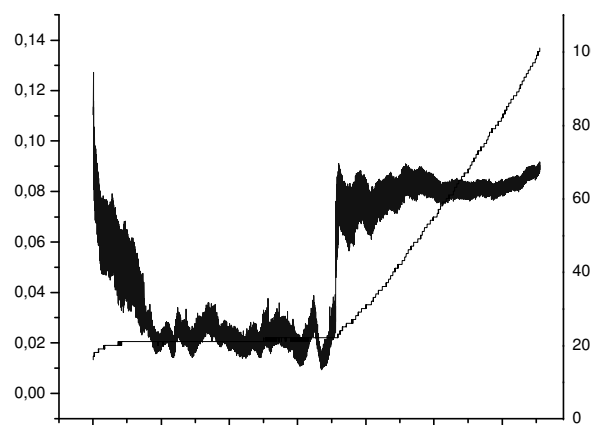


Рисунок 4 – Временная зависимость оценки температуры и коэффициента трения для избранного измерения (Но 2) с маслом Гикомол

величина коэффициента трения постоянно понижалась от 0,03 до 0,01.

Следующий этап эксперимента по приведенной методике был характерен плавным повышением нагрузки с интенсивностью 200Н каждые 4 минуты независимо от фиксации измеряемых параметров и при постоянной скорости вала.

После перехода в нагрузочную часть эксперимента немедленно произошло повышение коэффициента трения

прыжками, которое сопровождалось линейным ростом температуры в зависимости от времени. Из анализа следующего хода записи изображенных зависимостей очевидно, что каждый следующий рост нагрузки сопровождался немедленным прыжковым изменением коэффициента трения, и в следующих изменениях величина интенсивности понижается до постепенного исчезновения. Но в отличие от экспериментов с маслом PP80 исчезновение было значительно раньше. Величина коэффициента трения на данном этапе эксперимента была в диапазоне 0,06 до 0,09.

У масла были отмечены потери веса в диапазоне от 0,00 до 0,03мг.

Как заметно из хода эксперимента, пробный пуск похож на масло PP80 и ход температуры почти одинаковый. Разница проявляется в стабильности коэффициента во время хода и во время нагрузочной части эксперимента.

У масла Гикомол пробный пуск характеризуется более интенсивным понижением коэффициента трения в ходе первых 600с и его последовательной стабильностью во время следующего этапа пробного пуска, причем его величина меняется в узкой области вокруг средней оценки. При переходе в нагрузочную часть эксперимента рост коэффициента еще более значительный, чем у масла PP80. Но после первой трети нагрузочной части коэффициент трения стабилизируется и на повышение нагружения не реагирует.

На рисунке 5 изображен феррограф частиц износа, полученный феррографическим анализом с маслом Гикомол. По атласу частиц износа это типичные частицы т.н. положительного клейного употребления. Частицы характеризованы узкой длинной формой, без аномалий в виде разных форм и размеров.

**Резюме результатов – заключение.** На основе приведенных данных было сделано представление о некоторых основных трибологических свойствах избранных скользящих материалов, смазываемых выбранными видами масел.

Внимание было сосредоточено прежде всего на коэффициентах трения и температуре, записаны были также и другие релевантные величины.

Оценки, приобретенные в экспериментах с маслом PP80, считаем основными и сравнительными, так как касаются масла, очень распространенного в сельском хозяйстве.

С точки зрения изменения коэффициента трения по нашим измерениям для избранной скользящей пары и ее трибологических свойств более подходящим является смазывание маслом Гикомол. Хотя изменение коэффициента трения во время пробного пуска немного неравномерным, но он достигает намного меньших величин по сравнению со свойствами узлов, смазанных маслом PP80.

При переходе в нагрузочную часть эксперимента появляется повышение величины коэффициента, но не до такой степени как в эксперименте с маслом PP80; кроме того, появляется стабильность после первой половины нагрузочного процесса, причем у масла Гикомол стабильность происходит уже в первой трети.

Поскольку величины коэффициента трения у масла Гикомол и PP80 почти одинаковые, можно, на основе смещения кривой измерений с маслом PP80 в направлении к большим величинам, определить масло Гикомол однозначно более выгодным, как с точки зрения пробного пуска, так и с точки зрения работы под нагрузкой.

Если у масла PP80 был эксперимент был окончен крайним условием 100°C, то при измерениях с маслом Гикомол был достигнут установленный предел 3000Н.

Измеренные потери веса доказывают самый положительный ход эксперимента при применении масла Гикомол.

С помощью феррографического анализа не было обнаружено существенной разницы в форме или в размере частиц износа при применении разных видов масла. Для экспериментов, выполненных с испытанными маслами, можно определить вид износа на основе сравнения с атласом частиц износа как износ положительного характера.

Учитывая относительно сложные условия работы скользящего узла, возможно на основе существования похожих частиц в реальном масляном заряде однозначно рекомендовать его замену.

Порядок подходящих масел идентичный с результатами экспериментов для данных масел в гидростатических передачах (Петрански, 2003).

Оценки удельного давления и скорости скольжения согласованы по избранной методике с характеристическими оценками, вытекающими из характеристики материала CuSn10 при данной скорости скольжения.

Констатируем, что для смазки данного скользящего узла среди испытанных масел наиболее подходящим является масло МОЛ ГИКОМОЛ Синт 75W-90.

**Список литературы:** 1. Božanský, M. - Vereš, M. - Rusnák, J. - Tököly, P. (2011): Konštruovanie II. Konštrukčné uzly. Vysokoškolská učebnica. STU Bratislava 2011, rozsah 326 strán, ISBN 978-80-227-3510-0. 2. Fedák, M. - Božanský, M. 2007. Kovové povlaky v povrchovej úprave ozubených súkolí, in: Acta Mechanika

Slovenska, Košice, 4-A/2007, ročník 11, s.75-80, ISSN 1335-2393. **3.** Kadnár, M. - Rusnák, J. - Kučera, M. - Malý, V. (2010): Využitie tribologických skúšok v automobilovom priemysle. In. 51. Medzinárodná vedecká konferencia katedier častí a mechanizmov strojov. Košice SR 2010, s.99-102, ISBN 978-80-970-294-1-8. **4.** Kučera, M. - Malý, V. (2002): Možnosti inovácie zariadenia na meranie napätí. In: Zborník z medzinárodnej vedeckej konferencie "Nové trendy v konštruovaní a v tvorbe technickej dokumentácie 2002", 27. máj 2004, Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2002, s.59-63. ISBN 80-8069-025-1. **5.** Petranský, I. et. al. 2004. Skúšobné stavy pre životnostné skúšky hydrostatických prevodníkov. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 2004. s.109-116. ISBN 80-8069-343-9. **6.** Rusnák, J. 2005. Štúdium tribologických vlastností materiálov nanosených na povrch nekonvenčnými technológiami. Monografia. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 2005. 63s. ISBN 80-8069-485-0. **7.** Vanya, A. - Hudákov Á.M. - Bošanský, M. (2011): Duplex Treated CrN Coating Properties Evaluation on Diferent Types of Structural Steels, University of Novi Sad, Machine Design Vol.3(2011) No.4, p.297-300, Novi Sad 2011, ISSN 1821-1259. **8.** Vanya, A. - Bošanský, M. - Tököly, P. (2010): Determination of the hardened layer thickness with reference to the gear geometry. In Mechanical Engineering 2010: 13th international conference on the occasion of the 70th anniversary of the beginning of education of mechanical engineering students at the Slovak University of Technology in Bratislava. Bratislava, 21.10. 2010. Proceedings of the papers. Bratislava: Slovak University of Technology in Bratislava, 2010, s.6-73. ISBN 978-80-227-3304-5.

*Поступила в редколлегию 02.05.12*

УДК 539.3

**Н.Н. ТКАЧУК**, м.н.с. каф. КГМ им. А.А. Морозова НТУ "ХПИ", Харьков;  
**Н.Б. НЕГРОБОВА**, преподаватель-стажер каф. ТММ и САПР НТУ "ХПИ";  
**Н.А. ТКАЧУК**, д.т.н., проф., зав. каф. ТММ и САПР НТУ "ХПИ"

### **ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНТАКТНЫХ ЗОН И ДАВЛЕНИЙ ПРИ КОНТАКТЕ ТЕЛ КОНЕЧНЫХ РАЗМЕРОВ ПО ПОВЕРХНОСТЯМ БЛИЗКОЙ ФОРМЫ**

Для случая контакта тел с близкими радиусами кривизны вдоль одного из главных направлений предложена общая постановка контактной задачи. Осуществлена параметризация задачи относительно геометрических размеров контактирующих тел и величины прижимающего усилия. Значения максимальных контактных давлений и длины полуосей контактного пятна получены аналитическими и численными методами.

Для випадку контакту тіл з близькими радіусами кривизни вздовж одного з головних напрямків запропоновано загальну постановку контактної задачі. Здійснено параметризацію задачі відносно геометричних розмірів контактуючих тіл та величини притискного зусилля. Значення максимальних контактних тисків та довжини напівосей контактної плями отримані аналітичним і чисельним методами.

General formulation of contact problem was proposed for the bodies with the close radius of curvature along one of the main directions. Geometric dimensions of the contacting bodies and the pressing force were parameterized. The maximum contact pressure and the length of the semiaxes of the contact patches were obtained analytical and numerical methods.

**Введение.** Как известно, контактное взаимодействие – один из основных способов передачи механического воздействия между деталями машин в процессе эксплуатации [1]. Соответственно характер распределения контактного давления зачастую является определяющим для нагрузочной способности элементов