

УДК 620.178.162.43+621.892.84

**В. В. Терентьев, О. Б. Аكوпова<sup>1</sup>, И. А. Телегин, Н. В. Боброва<sup>2</sup>**

**ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ  
ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
С МЕЗОГЕННЫМИ ПРИСАДКАМИ – КАРБОКСИЛАТАМИ МЕДИ**

Ивановская государственная сельскохозяйственная академия им. акад. Д. К. Беляева,  
ул. Советская, д. 45, 153012 Иваново, Россия. E-mail: vladim-terent@yandex.ru

<sup>1</sup>НИИ наноматериалов, Ивановский государственный университет,  
ул. Ермака, д. 39, 153025 Иваново, Россия. E-mail: akopov@dsn.ru

<sup>2</sup>АУ «Институт развития образования Ивановской области»,  
ул. Б. Воробьевская, д. 80, 153000 Иваново, Россия

*Представлены результаты экспериментальных исследований по определению износа элементов привода режущего аппарата зерноуборочных комбайнов в присутствии смазочных материалов с жидкими кристаллами. Условия испытаний принимались исходя из условий работы режущего аппарата зерноуборочного комбайна. В процессе исследований контролировался линейный износ одних из наиболее нагруженных элементов привода режущего аппарата. Отмечено, что введение мезогенных соединений в литиевые смазки позволяет снизить интенсивность изнашивания пар трения привода режущего аппарата зерноуборочного комбайна в среднем в 1,54–3,39 раза. Это позволяет повысить ресурс нагруженных элементов, и, соответственно, повысить надежность работы привода режущего аппарата. Полученные результаты исследований позволяют расширить сферу применения жидких кристаллов в качестве присадок к смазочным материалам, широко используемым в сельскохозяйственной технике.*

**Ключевые слова:** мезогенная присадка, жидкие кристаллы, износ, ресурс, надежность, карбоксилаты меди, интенсивность изнашивания.

**V. V. Terentyev, O. B. Akopova<sup>1</sup>, I. A. Telegin, N. V. Bobrova<sup>2</sup>**

**INCREASING RELIABILITY OF AGRICULTURAL MACHINERY BY USING PLASTIC  
LUBRICANT ADDITIVES WITH MESOGENIC COPPER CARBOXYLATES**

Ivanovo State Agricultural Academy named after academician D. K. Belyaev,  
Soviet str., 45, 153012 Ivanovo, Russia. E-mail: vladim-terent@yandex.ru

<sup>1</sup>Nanomaterials Research Institute, Ivanovo State University,  
Ermak str., 39. 153025 Ivanovo, Russia. E-mail: akopov@dsn.ru

<sup>2</sup>IE «Institute of Development of Education of Ivanovo Region»,  
B. Vorobevsky str., 80, 153000 Ivanovo, Russia

*The results of experimental studies on the definition of wear of the combine harvester cutter drive elements in the presence of lubricants with liquid crystals are presented. The test specifications were established according to the operation conditions of the combine harvester cutter. The linear wear of the most loaded elements of the cutter drive was tested. It was found out that introduction of mesogenic compounds into lithium lubricants allows to reduce the wear intensity of the friction pairs of the combine harvester cutter drive at the average rate of 1,54–3,39 times. It allows to enhance the loaded elements resource and, accordingly the reliability of the cutter drive operation. The*

results obtained make it possible to expand the sphere of application of liquid crystals as additives to lubricants widely used in agricultural machinery.

**Key words:** mesogenic additive, liquid crystals, wear, resource, reliability, copper carboxylates, wear intensity.

### Введение

В агропромышленном комплексе РФ используется значительное количество технических средств, от надежности которых напрямую зависит эффективность ведения сельскохозяйственного производства. Поэтому повышение надежности используемых технических средств является важной и актуальной задачей на современном этапе. Одними из наиболее сложных и дорогостоящих машин, используемых в сельскохозяйственном производстве, являются зерноуборочные комбайны.

Важнейшим условием эффективного проведения уборочных работ в сельскохозяйственном производстве является проведение работ в крайне сжатые агротехнические сроки, затягивание которых (особенно при прямом комбайнировании) приводит к значительным потерям урожая. Проведение значительных объемов работ в сжатые сроки определяется как количественным составом уборочных машин в хозяйстве, так и их техническим состоянием. По данным [1], наибольшее количество отказов зерноуборочных комбайнов приходится на жатвенную часть, механические передачи, гидросистемы, рабочие органы молотилки, электрические и электронные средства контроля.

Одним из важнейших и наиболее экономически целесообразных путей обеспечения высокой работоспособности и надежности жатвенного аппарата является применение в парах трения его привода высокоэффективных смазочных материалов (СМ).

СМ является неотъемлемым элементом любой трибологической системы, от свойств которого во многом зависят процессы трения и изнашивания сопряжений узла [2].

Исследования, проведенные ранее авторами [3, 4], выявили эффективность применения в качестве противоизносных и антифрикционных присадок к пластичным смазкам на основе кальциевых мыл дискотических мезогенных соединений – карбоксилатов меди.

Производственные испытания показали, что использование смесевой композиции дискотического мезогена миристана меди с солидолом в подшипниковых узлах культиватора КБМ-4,2

позволяет существенно снизить износ втулок и повысить таким образом ресурс в 2,12 раза [5, 6].

Другие исследования, проведенные авторами [7] на машине трения 2070СМТ-1, показали, что введение в пластичные смазки на основе литиевых мыл (Литол-24) каламитных мезогенных (КМ) соединений позволяет также снизить износ и уменьшить коэффициент трения.

При этом структура смазочного слоя динамична и обуславливается, в частности, самоорганизацией компонентов СМ в пространстве между контактирующими поверхностями [8].

Целью данной работы является изучение износа элементов привода жатки зерноуборочного комбайна СК-5М «Нива» в присутствии смазочной композиции, состоящей из пластичной смазки Литол-24 с присадкой в виде ундецилата меди.

### Эксперимент

Для исследований была выбрана смазочная композиция, включающая Литол-24 и мезогенную присадку ундецилат меди. Процентное содержание ундецилата меди в ней составляло 20 мас. %.

Для проведения экспериментов по изучению данной смазочной композиции в узлах трения привода жатки зерноуборочного комбайна СК-5М «Нива» нами был разработан и изготовлен лабораторный стенд (рис. 1).



Рис. 1. Стенд для исследований

Стенд представляет из себя часть жатки комбайна СК-5М «Нива». Нагрузка на режущий аппарат осуществляется при помощи системы грузов. Привод стенда подсоединен к асинхронному электродвигателю посредством цепной передачи. Суммарная масса грузов и передаточное



*a* – болт (№ по каталогу Н 069.02.011)



*б* – щека режущего аппарата  
(№ по каталогу Н 069.01.008-01)

Рис. 2. Элементы привода режущего аппарата жатки зерноуборочного комбайна СК-5М

отношение цепной передачи подбирались исходя из условия работы режущего аппарата. В процессе исследований определялся линейный износ следующих элементов (рис. 2).

Данные элементы были выбраны вследствие их высокой нагруженности и интенсивного изнашивания в процессе эксплуатации. В соответствии с инструкцией по эксплуатации комбайна СК-5М «Нива» данная пара трения должна смазываться с периодичностью один раз в смену. Исходя из данной периодичности, было установлено время одного испытания.

Для определения линейного износа предварительно на поверхности трения наносились по три отпечатка индентором с углом при вершине  $120^\circ$ . Далее замерялись диаметры отпечатков до и после исследований при помощи микроскопа МБУ-4. Линейный износ определялся по следующей формуле:

$$i = (D_1 - D_2) / 2 \times \operatorname{tg} 30^\circ, \quad (1)$$

где  $D_1$  – диаметр отпечатка до трения, мм;  
 $D_2$  – диаметр отпечатка после трения, мм.

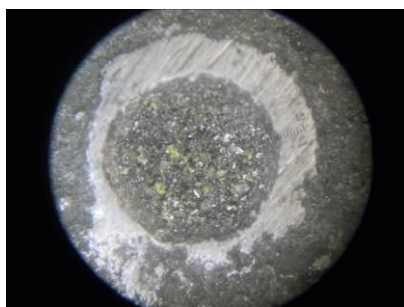
Окончательно износ определялся как среднearифметическое значение.

В парах трения сравнивались серийная смазка (Литол-24 без присадки) и экспериментальная смазка (Литол-24 с мезогенной присадкой ундецилатом меди).

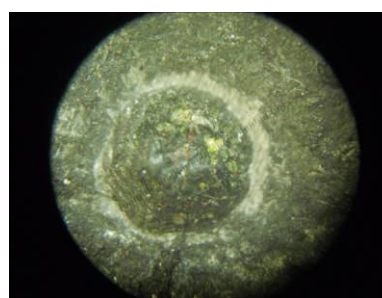
#### Результаты и их обсуждение

На рисунке 3 представлены фото износа шаровой поверхности болта (рис. 2, *a*) после испытаний в присутствии испытываемых смазочных композиций. Сравнение рисунков 3, *a* и 3, *б* свидетельствует о том, что в присутствии присадки из группы мезогенных КМ поверхность трения менее выражена по сравнению с поверхностью трения, которая появилась в процессе испытаний при смазке ее СМ Литол-24 без присадки.

Этот эксперимент наглядно показывает, что при использовании серийного смазочного материала процесс изнашивания поверхности протекает более интенсивно и это приводит к значительному снижению ресурса данного элемента. Количественные результаты определения износа исследованных элементов представлены на рис. 4, 5.



*a* – при смазке серийным СМ



*б* – при смазке экспериментальным СМ

Рис. 3. Фото поверхностей трения болта

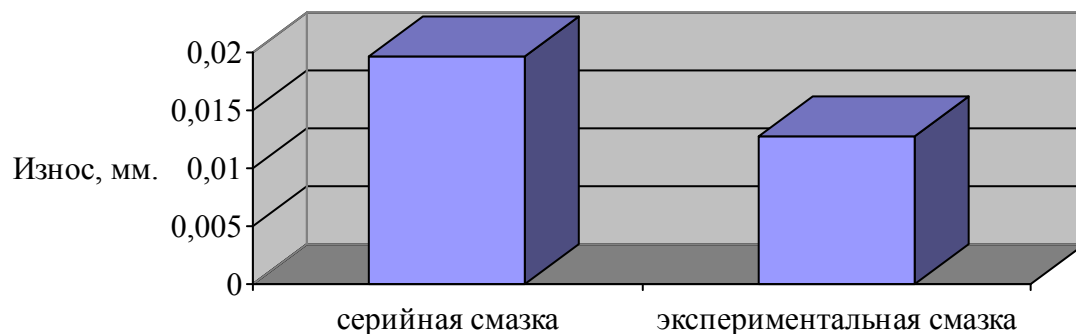


Рис. 4. Результаты определения износа шаровой поверхности болта (№ по каталогу Н 069.02.011)

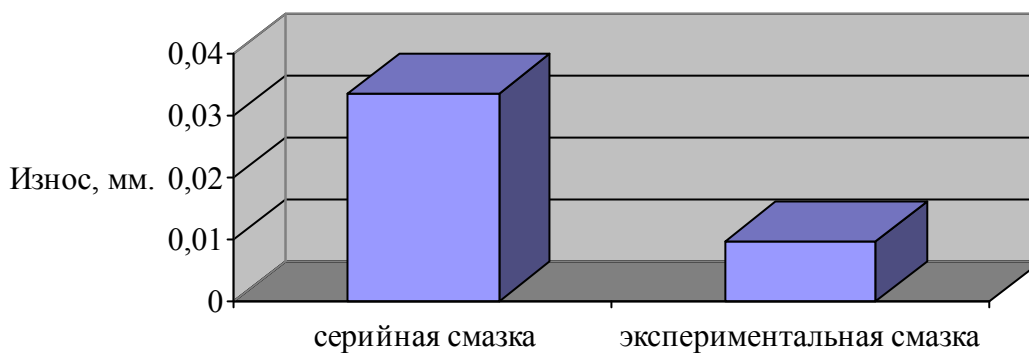


Рис. 5. Результаты определения износа сферической поверхности щеки режущего аппарата (№ по каталогу Н 069.01.008-01)

Интенсивность изнашивания исследованных элементов приведена в таблице.

**Результаты определения интенсивности изнашивания исследованных элементов**

Смазочный материал	Наименование детали	
	Болт	Щека режущего аппарата
Серийный СМ	$3,35 \cdot 10^{-9}$	$5,72 \cdot 10^{-9}$
Экспериментальный СМ	$2,18 \cdot 10^{-9}$	$1,65 \cdot 10^{-9}$

Как показывают полученные результаты (рис. 4, 5), введение в серийную смазку Литол-24 мезогенного ундецилата меди позволяет значительно снизить износ деталей в паре трения «шар–сфера». Износ шаровой поверхности болта снижается при этом в среднем в 1,54 раза, износ сферической поверхности щеки – в среднем в 3,39

раза. Интенсивность изнашивания также значительно снижается (табл.).

Известно, что ундецилат меди является дискотическим мезогеном и в приграничном слое может формировать колончатые упаковки [3], которые, как показано в ряде предыдущих исследований на других мезогенах с колончатой надмолекулярной структурой, эффективны как противоизносные присадки для тяжело-нагруженных узлов трения [9, 10].

**Заключение**

В результате проведенных исследований установлено, что использование дискотического мезогена ундецилата меди в качестве присадки к пластичной смазке Литол-24 позволяет значительно снизить интенсивность изнашивания трущихся поверхностей, в частности элементов привода режущего аппарата зерноуборочного комбайна СК-5М «Нива».

А снижение интенсивности изнашивания режущего аппарата приводит к повышению ресурса деталей, увеличению периодичности смазывания трущихся элементов, к снижению количества потребляемого смазочного материала и трудоемкости обслуживания комбайна и, как следствие, позволяет повысить надежность нагруженных элементов привода режущего аппарата зерноуборочных комбайнов в процессе эксплуатации.

Кроме того, на примере ундецилата меди расширена сфера применения таких дискотических мезогенов, как карбоксилаты меди в области сельскохозяйственной техники.

Перспективным является поиск еще более эффективных мезогенных присадок на основе карбоксилатов металлов и других дискотических металло-мезогенов, а также мезогенов, содержащих гетероциклические структуры и имеющих звездообразное строение.

*Работа поддержана грантом Минобрнауки РФ НИР № 4.106.2014К в рамках выполнения госзадания.*

#### Список литературы / References

1. Макаренко Д. Н. Повышение надежности сегментно-пальцевого режущего аппарата уборочных машин : автореф. ... канд. техн. наук. Зерноград, 2013. 171 с. [Макаренко Д. Н. Povyshenie nadezhnosti segmentno-pal'tseвого rezhushchego apparata uborochnykh mashin (Improving the reliability of segment-finger cutting machine harvesters) : PhD thesis. Zernograd, 2013. 171 p. (in Russian)].
2. Бухвалов А. С., Володько О. С., Ленивец А. Г. Обоснование рационального режима смазывания опорных катков гусеничного трактора // Изв. Самарской ГСХА. 2014. № 3. С. 62–67. [Bukhvalov A. S., Volod'ko O. S., Lenivtsev A. G. Obosnovanie ratsional'nogo rezhima smazyvaniya opornykh katkov gusenichnogo traktora (The basis of tractors' track rollers efficient lubrication mode) // Izv. Samarskoy GSKhA (Bulletin Samara State Agricultural Academy). 2014. № 3. P. 62–67 (in Russian)].
3. Аكوпова О. Б., Лапшин В. Б., Терентьев В. В., Богданов В. С. Карбоксилаты меди. Моделирование, синтез, мезоморфизм и трибологические свойства // Жидкие кристаллы и практическое использование. 2012. Вып. 2. С. 20–28. [Akopova O. B., Lapshin V. B., Terentyev V. V., Bogdanov V. S. Karboksilyaty medi. Modelirovaniye, sintez, mezomorfizm i tribologicheskie svoystva (Copper(II) carboxylates. Simulation, synthesis, mesomorphism and tribological properties) // Zhidkie kristally i ikh prakticheskoye ispol'zovaniye (Liq. Cryst. & Appl. Russ. J.). 2012. Iss. 2. P. 20–28 (in Russian)].
4. Терентьев В. В., Аكوпова О. Б., Лапшин В. Б., Субботин К. В. Влияние строения дискотических мезогенных присадок – карбоксилатов меди – на свойства синтетических кальциевых смазок // Ремонт, восстановление, модернизация. 2011. № 4. С. 31–33. [Terent'ev V. V., Akopova O. B., Lapshin V. B., Subbotin K. V. Vliyaniye stroeniya diskoticheskikh mezogennykh prisadok – karboksilatov medi na svoystva sinteticheskikh kal'tsievyykh smazok (Influence of the structure of discotic mesogenic additive-copper carboxylates on the properties of synthetic calcium lubricants) // Remont, vosstanovlenie, modernizatsiya (Repair, reconditioning, modernization). 2011. № 4. P. 31–33 (in Russian)].
5. Терентьев В. В., Лапшин В. Б., Аكوпова О. Б., Субботин К. В. Применение присадок на основе дискотических мезогенных соединений, полученных механоактивацией, в узлах трения сельскохозяйственной техники // Тез. докл. XXV Междунар. Чугаевской конф. по коорд. химии и II Молодежной конф.-школы «Физико-химические методы в химии координационных соединений». Суздаль, 2011. С. 455. [Terent'ev V. V., Lapshin V. B., Akopova O. B., Subbotin K. V. Primeneniye prisadok na osnove diskoticheskikh mezogennykh soedineniy, poluchennykh mekhanoaktivatsiyey, v uzлах treniya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki (Use of additives on the basis of discotic mesogenic compounds prepared by mechanical activation, in friction units of agricultural machinery) // XXV Chugaev. Intern. Conf. on Coordinatsion Chemistry and II Youth Conference-school "Physico-chemical methods in the chemistry of coordination compounds". Abstract. Suzdal, 2011. P. 455 (in Russian)].
6. Терентьев В. В., Лапшин В. Б., Субботин К. В., Богданов В. С. Повышение ресурса узлов трения почвообрабатывающей техники // Научное обозрение. 2011. № 6. С. 27–31. [Terent'ev V. V., Lapshin V. B., Subbotin K. V., Bogdanov V. S. Povysheniye resursa uzlov treniya pochvoobrabatyvayushchey tekhniki (Improving resource of friction units of tillage equipment) // Nauchnoye obozreniye (Scientific Review). 2011. № 6. P. 27–31 (in Russian)].
7. Терентьев В. В., Аكوпова О. Б., Баусов А. М., Герасимов А. И., Телегин И. А. Разработка и исследование антифрикционных и противозносных дискотических мезогенных присадок для пластичных смазок машин и оборудования // Известия Самарской ГСХА. 2014. № 3. С. 53–56. [Terent'ev V. V., Akopova O. B., Bausov A. M., Gerasimov A. I., Telegin I. A. Razrabotka i issledovaniye antifriktsionnykh i protivoznosnykh diskoticheskikh mezogennykh prisadok dlya plastichnykh smazok mashin i oborudovaniya (Developing and research of antifrictional and non-wear disk-like mesogene

- additives for plastic greasings of machines and equipment) // *Izvestiya Samarskoy GSKhA (Bulletin Samara State Agricultural Academy)*. 2014. № 3. P. 53–56 (in Russian)].
8. Берёзина Е. В., Годлевский В. А., Железнов А. Г., Фомичёв Д. С. Аналитическое описание структурированного смазочного слоя // *Жидкие кристаллы и их практическое использование*. 2014. Т. 14, № 1. С. 74–79. [Berezina E. V., Godlevskiy V. A., Zheleznov A. G., Fomichev D. S. Analiticheskoe opisaniye strukturirovannogo smazochnogo sloya (Analytical evaluation of structured lubricating layer) // *Zhidkie kristally i ikh prakticheskoye ispol'zovanie (Liq. Cryst. & Appl. Russ. J.)*. 2014. Vol. 14, № 1. P. 74–79 (in Russian)].
9. Акопова О. Б., Бобров В. И., Калинин А. А. Влияние мезогенных присадок на трибологические характеристики смазочных композиций // *Изв. АН СССР. Сер. физическая*. 1991. Т. 55, № 9. С. 1752–1755. [Akopova O. B., Bobrov V. I., Kalinin A. A. Vliyanie mezogennykh prisadok na tribologicheskie kharakteristiki smazochnykh kompozitsiy (Influence of mesogen additives on tribological properties of lubricating compositions) // *Izv. AN SSSR. Ser. fiz. (Bull. Acad. Sci. USSR. Ser. Phys.)*. 1991. Vol. 55, № 9. P. 1752–1755 (in Russian)].
10. Акопова О. Б. Влияние молекулярного и надмолекулярного строения дискотических мезогенов на их трибологические характеристики // *Успехи в изучении жидкокристаллических материалов / под ред. Н. В. Усольцевой*. Иваново : Иван. гос. ун-т, 2007. С. 73–79. [Akopova O. B. Vliyanie molekulyarnogo i nadmolekulyarnogo stroeniya diskoticheskikh mezogenov na ikh tribologicheskie kharakteristiki (Effect of molecular and supramolecular structure of discotic mesogens on their tribological characteristics) // *Uspekhi v izuchenii zhidkokristallicheskiykh materialov (Advances in the study of liquid crystal materials) / ed. by. N. V. Usol'tseva*. Ivanovo: Ivanovo State University, 2007. P. 73–79 (in Russian)].

Поступила в редакцию 26.11.2014 г.