

// Nauchno-tehnicheskoe obespechenie APK Sibiri, materialy Mezhdunarodnoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii. – 2019. – S. 245-250.

6. Zatonskii A.V. Optimizatsiia modeli informatsionnoi sistemy podderzhki tekhnobsluzhivaniia i remonta oborudovaniia // Informatsionnye tekhnologii. – 2007. – No. 3. – S. 2-7.

7. Berdnikova R.G., Krikov A.M. Informatsionnoe obespechenie tekhnicheskogo obsluzhivaniia

traktorov: trudy GOSNITI. – Moskva, GOSNITI, 2013. – T. 113. – S. 173-178.

8. Krikov A.M., Fedorov A.G., Sidorenko M.N. Sovershenstvovanie prognozirovaniia ostatochnogo resursa parametrov uzlov i agregatov gruzovykh avtomobilei // Nazemnye transportno-tehnologicheskie sredstva: proektirovanie, proizvodstvo, ekspluatatsiia: sbornik trudov / II Vserossiiskaia nauchno-prakticheskaiia konferentsiia (30-31 oktiabria 2018 g.). – Chita, 2018. – S. 191-195.



УДК 667.6

DOI: 10.53083/1996-4277-2021-204-10-106-111

А.В. Пчельников, В.В. Коротких, А.П. Илясов

A.V. Pchelnikov, V.V. Korotkikh, A.P. Ilyasov

## ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ АПК НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫМИ ЛАКОКРАСОЧНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

### INCREASING DURABILITY OF PROTECTIVE COATINGS OF FARM MACHINERY AND EQUIPMENT WITH NANO-MODIFIED PAINTWORK MATERIALS

**Ключевые слова:** защитные покрытия, наномодификация, лакокрасочные покрытия, коррозионная защита, огнестойкость, адгезия, терморегуляция, антистатика.

Рассмотрены актуальные направления работы для обеспечения эксплуатационных качеств защитных покрытий машин и оборудования в АПК для условий Сибири. Определены 5 основных направлений: коррозионная защита, терморегуляция, огнестойкость, антистатика и радиационная защита. Выявлено, что наиболее эффективным способом для обеспечения эксплуатационных качеств покрытий является их наномодификация. Представлена методика проведения испытаний на огнестойкость, разработанная в Новосибирском ГАУ. Представлены результаты предварительных испытаний по двум направлениям: огнестойкость и коррозионная защита. Одна из перспективных нанодобавок – оксид висмута, которая позволяет повысить огнестойкость и физико-механические свойства. По результатам исследований при достижении концентрации оксида висмута 5% наблюдается экстремум для значений твердости (86-94) и адгезии (3,3-3,6 МПа) покрытия. В то же время добавление оксида висмута в концентрации 7,5% позволило добиться существенного повышения огнестойкости покрытия. Огнестойкость и время воспламенения повысились до 240°C и 65 с соответственно. Определены одни из наиболее эффективных добавок и обозначена дальнейшая направленность исследования, которая заключается в оптимизации составов защитных покрытий и обеспечении комплекса свойств для условий эксплуатации в каждом конкрет-

ном случае. Необходимо также учитывать совместное влияние наномодификаторов на свойства защитного покрытия.

**Keywords:** protective coatings, nanomodification, paint and varnish coatings, corrosion protection, fire resistance, adhesion, thermoregulation, antistatics.

This paper discusses the current areas of work to ensure the performance of protective coatings for machinery and equipment in the agricultural industry complex for the conditions of Siberia. The following five main areas were identified: corrosion protection, thermoregulation, fire resistance, antistatics and radiation protection. It was found that the most efficient way to ensure the performance of coatings is their nanomodification. The method of fire resistance tests developed at the Novosibirsk State Agricultural University is presented. The results of preliminary tests in two areas are presented: fire resistance and corrosion protection. One of the promising nano-additives is bismuth oxide which may improve fire resistance and physical and mechanical properties. According to the research results, when the concentration of bismuth oxide reaches 5%, an extremum is observed for the values of hardness (86-94) and adhesion (3.3-3.6 MPa) of the coating. At the same time, the addition of bismuth oxide in a concentration of 7.5% made it possible to achieve a significant increase in the fire resistance of the coating. Fire resistance and ignition time increased to 240°C and 65 s, respectively. Some of the most effective additives are identified and the further direction of the study is indicated which consists in optimizing the compositions of protective coatings and

providing a set of properties for operating conditions in each specific case. It is also necessary to take into account

the combined effect of nanomodifiers on the properties of the protective coating.

**Пчельников Александр Владимирович**, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, г. Новосибирск, Российская Федерация, e-mail: pchelaleksandr@mail.ru.

**Коротких Владимир Владимирович**, к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, г. Новосибирск, Российская Федерация, e-mail: pchelaleksandr@mail.ru.

**Илясов Александр Петрович**, ст. преподаватель, ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, г. Новосибирск, Российская Федерация, e-mail: pchelaleksandr@mail.ru.

**Pchelnikov Aleksandr Vladimirovich**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Novosibirsk State Agricultural University, Novosibirsk, Russian Federation, e-mail: pchelaleksandr@mail.ru.

**Korotkikh Vladimir Vladimirovich**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Novosibirsk State Agricultural University, Novosibirsk, Russian Federation, e-mail: pchelaleksandr@mail.ru.

**Ilyasov Aleksandr Petrovich**, Asst. Prof., Novosibirsk State Agricultural University, Novosibirsk, Russian Federation, e-mail: pchelaleksandr@mail.ru.

## Введение

Сельскохозяйственная отрасль Сибири имеет свою специфику и отличается особыми условиями эксплуатации. В настоящее время применяемые защитные покрытия в большинстве случаев не обладают необходимыми свойствами.

Специфика эксплуатации машин и оборудования АПК в Сибири имеет ряд отличительных особенностей [1]:

### 1. Высокая коррозионная активность [2].

Металлофонд сельскохозяйственной отрасли России составляет 150 млн т. Ежегодно потери металла в результате коррозионных разрушений составляют до 20%, что практически в два раза превышает средние потери металла по стране в целом.

Срок службы металлических поверхностей объектов сельскохозяйственного назначения в 2,5-3 раза короче, чем в других сферах, это связано со спецификой эксплуатации этих объектов.

В частности, металлические поверхности сельскохозяйственной техники, за счет своих специфических условий эксплуатации и хранения, также подвергаются интенсивному коррозионному разрушению. Это обосновывается совместным воздействием растительных сред, удобрений, погодных факторов (в особенности для условий Сибири) и механических нагрузок.

### 2. Высокая пожароопасность.

Сельскохозяйственное производство связано с большим числом горючих материалов: сено, солома, созревший хлеб, лес, древесина, топливно-смазочные материалы и т.д.

К наиболее пожароопасным сельскохозяйственным объектам относятся предприятия по хранению и переработке зерна, заводы по производству растительного сырья, сельскохозяйственная техника и др. [3].

Общий материальный ущерб за последние несколько лет в России составляет 60 млн долларов.

Возгорания сельскохозяйственной техники, работающей сезонно при повышенных эксплуатационных нагрузках, одна из основных проблем в России в период проведения уборочных работ.

Одной из основных причин повышенного возгорания с.-х. техники является устаревший парк, 85% тракторов и 50% комбайнов в России старше 10 лет.

Ежегодно в России в результате пожаров уничтожается более 7800 единиц автотракторной техники.

В свою очередь Сибирский регион относится к одному из наиболее пожароопасных регионов страны [3].

### 3. Климатические условия Сибири.

Фактором, сокращающим срок эксплуатации машин и оборудования в АПК в условиях Сибири, являются суровые погодные условия:

- большие перепады температур (от -50°C зимой до +40°C летом) и частые переходы температур через 0°;
- высокая солнечная радиация;
- колебания влажности воздуха в течение года в пределах 50-70%.

В результате наблюдаются следующие негативные последствия:

1. Влажный воздух, перепады температур и переходы температуры через 0°C приводят к возникновению термических напряжений в защитных покрытиях из-за различных коэффициентов линейного расширения компонентов. Соответственно, покрытия теряют свои защитные свойства, и металл начинает корродировать.

2. В зимний период, при больших отрицательных температурах тратится огромное количество энергии на сохранение тепла и обеспе-

чение работоспособного состояния агрегатов сельскохозяйственных машин и оборудования. В связи с этим сокращается их ресурс и повышаются затраты на их содержание.

В связи с этим решение вопросов, связанных с защитой от радиационных излучений людей, находящихся в зонах с повышенным радиационным фоном, требует решения.

В настоящее время защитные покрытия, применяемые в условиях Сибири, не обладают необходимым набором эксплуатационных качеств, что выражается в больших материальных потерях.

Актуально находить пути обеспечения комплексом необходимых эксплуатационных качеств защитных покрытий для различных условий.

Одним из самых эффективных способов повышения эксплуатационных качеств защитных покрытий является их наномодификация. За счет этого возможно добиться изменения целого комплекса свойств защитных покрытий.

Добавление наночастиц проводится путем химического модифицирования, которое может осуществляться как на стадии синтеза исходных компонентов, так и непосредственно в процессе их переработки, а также возможно совершенствование составов на этапе их приготовления к применению.

Наиболее эффективным является последнее направление, поскольку корректировка рецептуры составов при их приготовлении позволяет без изменения технологических процессов и режимов производства материалов достичь улучшения комплекса свойств защитных покрытий [4, 5].

На основании вышеизложенного **целью** исследования является повышение долговечности защитных покрытий машин и оборудования АПК, за счет модификации лакокрасочных материалов нанодобавками.

### Объекты и методы

Защитные лакокрасочные покрытия не только повышают горючесть, но и способствуют более быстрому распространению пламени по поверхности, увеличивают дымообразование и токсичность [6].

Существующие способы оценки огнестойкости, как правило, являются обобщенными и не ориентированы на испытание защитных покрытий, в большей степени направлены на опреде-

ление показателей горючести строительных материалов. Известные способы для испытания защитных покрытий позволяют определять лишь несколько показателей горючести материалов, в связи с этим не дают возможности в полной мере оценить их огнестойкость.

Для повышения информативности проведения испытаний на огнестойкость защитных покрытий в Новосибирском ГАУ разработано и запатентовано «Устройство для определения показателей горючести защитных покрытий» (патент РФ № 2740179), а также «Способ определения огнестойкости покрытий» (патент РФ № 2753261). С помощью этого устройства возможно определять следующие показатели: температура дымовых газов, продолжительность самостоятельного горения/тления, длина повреждения образца, масса образца до и после испытания, температура воспламенения/самовоспламенения, расстояние до источника огня.

Данная методика показала свою эффективность, а испытание контрольных образцов позволило определить ее сходимость с другими методами.

В качестве объяснения происходящим процессам был применен физико-химический метод – термомеханические исследования, позволяющие с достаточной достоверностью подтвердить рациональный состав по характеристикам термомеханической кривой, которая строится на основе измерения деформации одноосного сжатия под влиянием непрерывно действующей нагрузки в условиях нагрева образца с постоянной скоростью в интервале температур от комнатной до 300°C [7].

Адгезионная прочность лакокрасочных покрытий определялась в соответствии с ISO 2409 и 4624; толщина – в соответствии с ISO 2808; твердость по Шору – в соответствии с ISO 7619.

Для проведения испытаний подготовлены образцы в соответствии с ISO 1514. Для получения лакокрасочных покрытий принята эмаль АК-1301, выбор которой обоснован в предыдущих исследованиях [8].

### Результаты и их обсуждение

На данный момент результаты исследований по данной теме являются предварительными. Ниже представлены уже полученные результаты по отдельным направлениям (огнестойкость, коррозионная защита).

Для повышения огнестойкости защитных покрытий применяют специальные модифицирующие добавки-антипирены. Однако необходимо учитывать их влияние на физико-механические свойства, чтобы обеспечить надежную защиту металлических поверхностей.

В более ранних исследованиях авторами [9] испытаны наиболее эффективные порошковые антипирены (гидроксид алюминия, гидроксид магния) по данной методике, а также определено их влияние на адгезионную прочность покрытий. Результат испытаний показал, что за счет применения гидроксидов магния возможно добиться повышения огнестойкости покрытия (температура воспламенения до 170°C и более) и при этом сохранить его физико-механические свойства.

Если гидроксид алюминия и магния являются общеизвестными добавками для повышения огнестойкости, то использование нанопорошка оксида висмута ( $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ) носит пока экспериментальный характер. В таблице представлены результаты исследований.

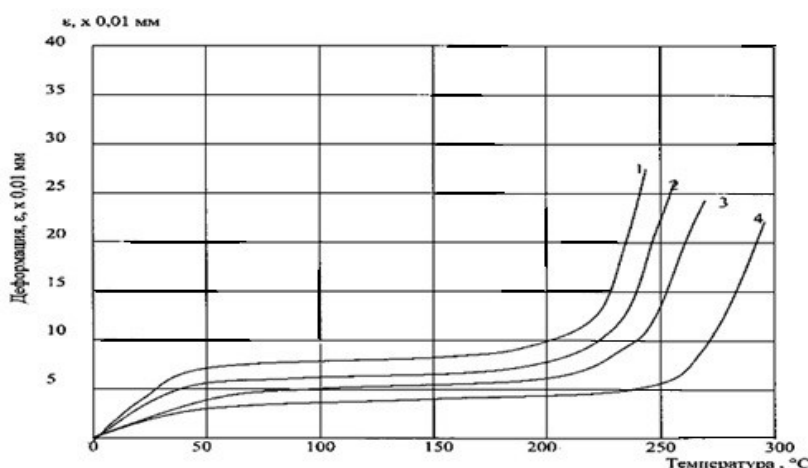
Анализируя полученные результаты, можно констатировать, что при достижении концентрации оксида висмута 5% наблюдается экстремум для значений твердости (86-94) и адгезии (3,3-3,6 МПа) покрытия. В то же время добавление оксида висмута в концентрации 7,5% позволило добиться существенного повышения огнестойкости покрытия. Огнестойкость и время воспламенения повысились до 240°C и 65 с соответственно. Также стоит отметить увеличение толщины покрытия при его модификации оксидом висмута.

При проведении термомеханических исследований наномодифицированного покрытия с оксидом висмута определено, что введение 5%-ного оксида висмута (рис., кривая 4) способствует повышению термостабильности покрытия и переводу точки текучести покрытия на 35-40°C выше контрольного образца, что свидетельствует об усиливающем влиянии данной добавки на покрытие в целом. Следует дополнительно отметить существенное снижение величины деформации, которая, по сравнению с контрольным образцом, уменьшается почти в 2 раза.

Таблица 1

**Результаты испытаний оксида висмута**

Содержание $\text{Bi}_2\text{O}_3$ в ЛКМ, %	Средняя толщина, мкм	Твердость по Шору	Адгезионная прочность, МПа	Температура воспламенения, °C	Время до воспламенения, с
0	50-52	63-65	2,5-2,7	110-120	12-18
0,5	52-54	62-67	2,7-2,9	-	-
1	61-65	81-88	3,0-3,2	-	-
2,5	62-66	76-82	3,1-3,4	130-142	15-20
5	67-72	86-94	3,3-3,6	137-152	19-24
7,5	68-70	67-75	3,2-3,4	225-240	57-65
10	73-75	69-73	3,1-3,3	-	-



**Рис. Термомеханические кривые модифицированного покрытия добавками оксида висмута:**  
 1 – без добавок; 2 – с добавкой 1%  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ; 3 – то же, с добавкой 10%  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ; 4 – с добавкой 5%  $\text{Bi}_2\text{O}_3$



Полученные результаты говорят о том, что применение наноразмерных частиц оксида висмута перспективно в плане получения долговечного покрытия с повышенной огнестойкостью и физико-механическими свойствами.

### Заключение

По результатам проведенных на сегодняшний день теоретических и экспериментальных исследований можно сказать, что решение вопросов обеспечения эксплуатационных качеств защитных покрытий для различных условий возможно решить путем нахождения оптимальных составов нанодобавок в покрытиях.

В дальнейших исследованиях планируется определить влияние других наноразмерных добавок на эксплуатационные качества защитных покрытий машин и оборудования АПК, эксплуатируемых в Сибири. Основная задача исследования на текущем этапе заключается в оптимизации составов защитных покрытий и обеспечении комплекса свойств для условий эксплуатации в каждом конкретном случае. Необходимо также учитывать совместное влияние наномодификаторов на свойства защитного покрытия.

### Библиографический список

1. Хрянин, В. Н. Исследование износостойкости лакокрасочных покрытий рабочих органов сельскохозяйственных машин / В. Н. Хрянин, А. В. Пчельников. – Текст: непосредственный // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2019. – № 7. – С. 44-48.
2. Zabara, K., Shpak, A., Shemyakin, A., et al. (2020). Prevention of corrosion fracture of agricultural equipment during storage. *E3S Web of Conferences*. 164. 06002. DOI: 10.1051/e3sconf/202016406002.
3. Моделирование процесса и способы оценки горения защитных покрытий металлических конструкций и оборудования / А. В. Пчельников, А. П. Пичугин, В. Ф. Хританков, Е. А. Волобой. – Текст: непосредственный // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2020. – № 6 (738). – С. 81-90.
4. Xue, H., Ye, Y., Li, X., et al. (2020). Nano-silica modification of UV-curable EVA resin for additive manufacturing. *Polymer Engineering & Science*. 60. DOI: 10.1002/pen.25403.
5. Шашок, Ж. С. Применение углеродных наноматериалов в полимерных композициях /

Ж. С. Шашок, Н. Р. Прокопчук. – Минск: БГТУ, 2014. – 232 с. – Текст: непосредственный.

6. Myronyuk, O., Raks, V., Baklan, D., et al. (2020). Aspects of the reduction of the coating fire resistance by the use of nanosized additives. *Applied Nanoscience*. 10. DOI: 10.1007/s13204-020-01405-y.

7. Smirnova, O; Pichugin, A; Sebelev, I. (2020). Research of pressed thermal insulation materials, based on organic waste. *IOP Conference Series. Materials Science and Engineering; Bristol*. 953 (1). DOI: 10.1088/1757-899X/953/1/012051.

8. Исследование системы лакокрасочных покрытий, применяемых при окрашивании сельскохозяйственной техники, на сопротивление истиранию / Ю. А. Гуськов, В. Н. Хрянин, А. В. Пчельников, А. А. Железнов. – Текст: непосредственный // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30, № 11. – С. 118-120.

9. Исследование влияния мелкодисперсных порошковых материалов на свойства защитных покрытий машин АПК / А. П. Пичугин, А. П. Илясов [и др.]. – Текст: непосредственный // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2021. – № 7. – С. 36-40.

### References

1. Khrianin V.N. Issledovanie iznosostoikosti lakokrasochnykh pokrytii rabochikh organov selskokhoziaistvennykh mashin / V.N. Khrianin, A.V. Pchelnikov // Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiia. – 2019. – No. 7. – S. 44-48.
2. Zabara, K., Shpak, A., Shemyakin, A., et al. (2020). Prevention of corrosion fracture of agricultural equipment during storage. *E3S Web of Conferences*. 164. 06002. DOI: 10.1051/e3sconf/202016406002.
3. Pchelnikov A.V. Modelirovanie protsessa i sposoby otsenki goreniiia zashchitnykh pokrytii metallicheskh konstruktssii i oborudovaniia / A.V. Pchelnikov, A.P. Pichugin, V.F. Khritankov, E.A. Voloboi // Izvestiia vuzov. Stroitelstvo. – 2020. – No. 6 (738). – S. 81-90.
4. Xue, H., Ye, Y., Li, X., et al. (2020). Nano-silica modification of UV-curable EVA resin for additive manufacturing. *Polymer Engineering & Science*. 60. DOI: 10.1002/pen.25403.
5. Shashok, Zh. S. Primenenie uglirodnykh nanomaterialov v polimernykh kompozitsiakh / Zh. S. Shashok, N. R. Prokopchuk. – Minsk: BGTU, 2014. – 232 s.
6. Myronyuk, O., Raks, V., Baklan, D., et al. (2020). Aspects of the reduction of the coating fire

resistance by the use of nanosized additives. *Applied Nanoscience*. 10. DOI: 10.1007/s13204-020-01405-y.

7. Smirnova, O; Pichugin, A; Sebelev, I. (2020). Research of pressed thermal insulation materials, based on organic waste. *IOP Conference Series. Materials Science and Engineering; Bristol*. 953 (1). DOI: 10.1088/1757-899X/953/1/012051.

8. Guskov Iu.A. Issledovanie sistemy lakokrasochnykh pokrytii, primeniayemykh pri okrashivanii selskokhoziaistvennoi tekhniki, na so-

protivlenie istiraniyu / Iu.A. Guskov, V.N. Khrianin, A.V. Pchelnikov, A.A. Zheleznov // *Dostizheniia nauki i tekhniki APK*. – 2016. – T.30. – No. 11. – S. 118-120.

9. Pichugin A.P. Issledovanie vliianiia melkкодисперсных порошковых материалов na svoistva zashchitnykh pokrytii mashin APK / A.P. Pichugin, A.P. Iliasov, A.V. Pchelnikov, V.N. Khrianin, R.V. Lutsik // *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiia*. – 2021. – No. 7. – S. 36-40.



УДК 631.95

DOI: 10.53083/1996-4277-2021-204-10-111-116

**В.В. Садов, Н.И. Капустин**

**V.V. Sadov, N.I. Kapustin**

## РЕШЕНИЯ ПО КОМПЛЕКСНОЙ УТИЛИЗАЦИИ НАВОЗА И ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

### SOLUTIONS ON INTEGRATED DISPOSAL OF MANURE AND MUNICIPAL SOLID WASTES

**Ключевые слова:** способы утилизации, разделение навоза на фракции, брикеты из ТБО и навоза.

Экологические вопросы во всем мире в последние годы становятся все острее. Это связано со значительным ростом производственных отходов различных отраслей и отходов населения, называемых твердыми бытовыми. Вопросу утилизации отходов в последнее время стали уделять чуть больше внимания, но тоже не достаточно. Основным отходом в животноводстве является навоз, а у населения – твердые бытовые отходы. Разделение навоза и ТБО на фракции не только повышает КПД использования площади, но и приводит к снижению транспортных расходов. Результаты анализа ситуации с отходами в Алтайском крае показали, что имеется значительное количество навоза, неиспользованного в качестве органических удобрений, и значительные объемы ТБО. Существующая технология ути-

лизации навоза предусматривает вывоз навоза на поле или временное складирование на территории фермы с постоянным ее загрязнением. Существуют различные способы утилизации органических отходов: тепловой, биологический, химический, электрофизический, механический, а также их комбинация. Для решения создавшейся проблемы целесообразен комплексный подход – использование клеящих свойств навозной массы КРС для связывания ТБО и создание брикетов из полученной смеси. Такой путь решения позволяет решить проблему экологии как на ферме, так и вблизи населенных пунктов. Результаты проведенных экспериментов позволяют сделать вывод, что топливные брикеты, полученные таким образом, удерживают свою форму и в высушенном состоянии позволяют поддерживать горение. Технология разделения навоза на фракции значительно упростит утилизацию твердой и жидкой фракции.