

Процесс экструзии позволил увеличить долю сырых безазотистых экстрактивных веществ (БЭВ) до 61,42 %, что на 35 % выше содержания их в углеводной смеси до экструзии.

### **Заключение**

Результаты исследований свидетельствуют о возможности сократить долю кормов зерновой группы в рационах кормления пушных зверей до 50 %, путем экструзионной переработки отходов плодоовощной продукции с зерновым наполнителем.

### **Список использованных источников**

1. Балакирев, Н.А. Кормление норок, монография / Изд. дом «Научная библиотека». – Москва. – 2015. – 248 с.
2. Паркалов, И.В. Переработка биоотходов для использования в звероводстве / И.В. Паркалов, М.В. Навныко, Э.В. Дыба / ж. Комбикорма. – 2019. – №5. – С. 31–35.

**Abstract:** Economic conditions in fur farming require the use of highly efficient energy-saving technologies for non-waste production. An urgent task in this area is the introduction of harmless methods for processing various wastes, which are valuable secondary raw materials for the production of feed.

УДК 667.6

**Пчельников А.В.**, кандидат технических наук;

**Пичугин А.П.**, доктор технических наук, профессор;

**Хрянин В.Н.**, кандидат технических наук, доцент

*ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет»,  
Новосибирск, Российская Федерация*

## **РАЗРАБОТКА НАНОМОДИФИЦИРОВАННЫХ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ АПК**

**Аннотация.** В статье рассмотрены актуальные направления работы для обеспечения эксплуатационных качеств защитных покрытий машин и оборудования в АПК для условий Сибири. Определено пять 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 является Оксид висмута, которая позволяет повысить огнестойкость и физико-механические свойства.*

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 тонн. 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  $-50^{\circ}\text{C}$  зимой до  $+40^{\circ}\text{C}$  летом) и частые переходы температур через  $0$  градусов;
- 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  $0^{\circ}\text{C}$  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 обеспечение работоспособного состояния агрегатов сельскохозяйственных машин и оборудования. В связи с этим сокращается их ресурс и повышаются затраты на их содержание.

4. Особенности расположения Сибирского региона. Повышенный радиационный фон.

Еще одна из особенностей Сибири – расположение. Большая часть региона находится на гранитных плитах с высокой концентрацией радона (до трех раз выше, чем средняя норма облучения радоном по стране). Его постоянное воздействие на человека приводит к развитию рака и злокачественных опухолей. Воздействие радоном относится к альфа-излучению и его воздействие в десятки раз интенсивнее, чем воздействия другого типа.

Большое значение эта проблема имеет для сельских жителей, которые проводят значительное время, работая в непосредственной близости от источников радиации в зонах с повышенным радиационным фоном. Как правило, жизнь сельских механизаторов в районах с повышенным радиационным фоном значительно короче, чем в районах с благоприятной обстановкой. Среди таких людей наблюдается высокая заболеваемость онкологическими заболеваниями.

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.

Таким образом, актуально находить пути обеспечения комплексом необходимых эксплуатационных качеств защитных покрытий для различных условий.

Один 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].

Существующие способы оценки огнестойкости, как правило, являются обобщенными и не ориентированы на испытание защитных покрытий и, в большей степени, направлены на определение показателей горючести строительных материалов. Также известные способы для испытания защитных покрытий позволяют определять лишь несколько показателей горючести материалов. в связи с этим не позволяют 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) (рисунок 1). 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 методиками.

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 °С [7,8].

Адгезионная прочность лакокрасочных покрытий определялась в соответствии с ISO 2409 и 4624.

Толщина лакокрасочного покрытия определялась в соответствии с ISO 2808.

Твердость по Шору лакокрасочного покрытия определялась 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 [9].

Ниже представлены 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.

Были испытаны наиболее эффективные порошковые антипирены (гидроксид алюминия – ГА, гидроксид магния – ГМ), а также определено их влияние на адгезионную прочность покрытий.



(а)



(b)

Рисунок 1 – Устройство для определения показателей горючести защитных покрытий: (а) – Патент №2740179; (b) – Вид устройства.

В результате проведенных испытаний наблюдается, что с ростом концентрации гидроксида алюминия в эмали повышается температура воспламенения покрытия (со 110...120°C до 230...240°C) и время его сопротивления воспламенению (с 12...18 с до 43...50 с), но при этом адгезия покрытия ухудшается (с 0 до 3 баллов).

При добавлении гидроксида магния в эмаль до 10%, наблюдалось повышение температуры воспламенения покрытия (со 110...120°C до 165...171°C), а время его сопротивления воспламенению увеличивалось (с 12...18 с до 27...30 с). Добавление более 10% гидроксида магния в состав эмали привело к последующему снижению температуры воспламенения покрытия (со 165...171°C до 130...136°C) и снижению времени сопротивления воспламенению (с 27...30 до 24...26 с), при сохранении адгезии в 1 балл.

Таким образом, за счет применения гидроксида 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 [10]. В таблице 1 представлены результаты исследований.

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, °С	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	–	–

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 повысилась до 240°С и 65с соответственно. Также стоит отметить об увеличении толщины покрытия при его модификации оксидом висмута.

При проведении термомеханических исследований наномодифицированного покрытия с оксидом висмута, определено, что введение 5 % оксида висмута (рисунок 2, кривая 4) способствует повышению термостабильности покрытия и переводу точки текучести покрытия на 35–40°С 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 два раза.

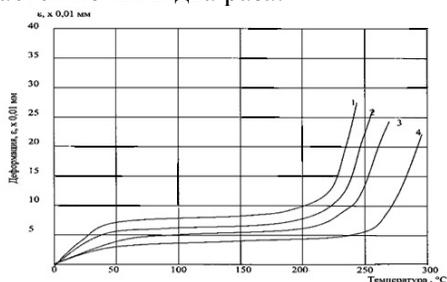


Рисунок 2 – Термомеханические кривые модифицированного покрытия добавками оксида висмута: 1 – без добавок; 2 – с добавкой 1%  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ; 3 – то же, с добавкой 10%  $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ; 4 – с добавкой 5%  $\text{Bi}_2\text{O}_3$

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

Известно, что предварительная обработка поверхности перед нанесением защитных покрытий составами на основе нанодобавок позволяет добиться улучшения физико-механических свойств покрытия, а соответственно способствует лучшей защите от коррозии [8]. С этой целью определено, что наибольший эффект можно достичь при применении состава кремнезоля с углеродными нанотрубками. За счет предварительной обработки таким составом образуются более однородные и менее дефектные структуры при контакте с металлом. Данный эффект объясняется снижением внутренних напряжений на границе раздела фаз.

На графике (рисунок 3) показано, что совместное влияние кремнезоля и Углеродных нанотрубок обеспечивает смещение температуры текучести покрытия на 25–30°C, что говорит об эффекте совместного действия (кривая 4).

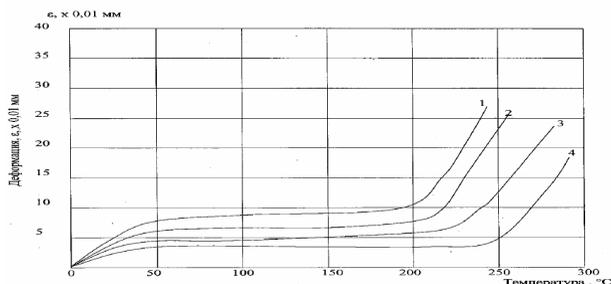


Рисунок 3 – Термомеханические кривые модифицированного покрытия добавками кремнезоля и углеродных нанотрубок от температуры при действии постоянной нагрузки: 1 – без добавок; 2 – с добавкой раствора кремнезоля 5 %; 3 – то же, с добавкой кремнезоля 10 %; 4 – с добавкой кремнезоля и УНТ.

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.

Список использованных источников

1. Хрянин В.Н., Пчельников А.В. 2019. Исследование износостойкости лакокрасочных покрытий рабочих органов сельскохозяйственных машин. *Ремонт. Восстановление. Модернизация.* № 7. С. 44–48.
2. Zabara, K., Shpak, A., Shemyakin, A., Melkumova, T., Morozova, N., Podyablonskiy, A. 2020. *Prevention of corrosion fracture of agricultural equipment during storage.* E3S Web of Conferences Volume 164, 5 May 2020, pp. 060022019.
3. Пчельников А.В., Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Волобой Е.А. 2020. Моделирование процесса и способы оценки горения защитных покрытий металлических конструкций и оборудования. *Известия вузов. Строительство.* №6 (738) с.81-90.
4. Хуе, Н., Ye, Y., Li, X., Xia, J., Lin, Q. 2020. *Nano-silica modification of UV-curable EVA resin for additive manufacturing.* Polymer Engineering and Science Volume 60, Issue 7, Pp 1579-1587.
5. Шашок, Ж.С. Применение углеродных наноматериалов в полимерных композициях / Ж. С. Шашок, Н.Р. Прокопчук. – Минск : БГТУ, 2014. – 232 с. – ISBN 978-985-530-317-7.
6. Myronyuk, O.V. , Raks, V.A. , Baklan, D.V. , Barrat, S, Arranda, L. , Yezhov, S. , Kara, H. 2020. *Aspects of the reduction of the coating fire resistance by the use of nanosized additives.* Applied Nanoscience (Switzerland). Volume 10, Issue 12, Pp. 4901–4907.
7. Smirnova O.E., Pichugin A.P., Sebelev I.M. 2020. Research of pressed thermal insulation materials, based on organic waste . *В сборнике: IOP conference series: materials science and engineering. XIII International Scientific Conference Architecture and Construction* С. 012051.
8. Пичугин А.П., Хританков В.Ф., Смирнова О.Е., Пчельников А.В., Шаталов А.А. 2021. *Реконструкция водогрязелечебницы архитектурного ансамбля курорта «Озеро Карачи».* *Жилищное строительство.* № 1–2. С. 26–33
9. Гуськов Ю.А., Хрянин В.Н., Пчельников А.В., Железнов А.А. 2016. Исследование систем лакокрасочных покрытий, применяемых при окрашивании сельскохозяйственной техники, на сопротивление истиранию. *Достижения науки и техники АПК.* Т. 30. № 11. С. 118-120.
10. Riente, P., Fianchini, M., Llanes, P., Pericàs, M.A., Noël, T. 2021. *Shedding light on the nature of the catalytically active species in photocatalytic reactions using Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> semiconductor.* Nature Communications Volume 12, Issue 1. p.625.