

На пирамиде хорошо видно «вымывание» молодого трудоспособного населения, большая доля пожилого населения, что существенно снижает показатель доходов населения и увеличивает долю населения, живущего в сложных материальных условиях [1].

Также на пирамиде отражается гендерная диспропорция: до 40 лет видно преобладание мужчин, однако в связи с их высокой смертностью, количество женщин, особенно в возрасте 70+ возрастает в два раза.

Сравнивая население по полу и возрасту Беларуси и Витебской области, следует отметить, что оно коренным образом не отличается. Однако в Витебской области следует выделить большую долю женщин в старших возрастах (70+), по сравнению с такой же возрастной категорией по Беларуси.

**Заключение.** Как отмечают многие исследователи, вероятность того, что негативную демографическую ситуацию в большинстве районов Беларуси удастся развернуть вспять, довольно мала. Детальное изучение демографической ситуации позволит оптимально образовать устойчивое развитие белорусских территорий и решить проблемы народонаселения.

Список цитированных источников:

1. Шаматульская, Е. В. Тенденции естественного воспроизводства сельского населения Витебской области / Е. В. Шаматульская // Право. Экономика. Психология. – 2024. – № 1(33). – С. 52–63. – URL: <https://rep.vsu.by/handle/123456789/42430> (дата обращения: 15.01.2025).

2. Статистика естественного движения населения: интерактивная информационно-аналитическая система распространения официальной статистической информации – URL: [https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/ssrd-mvf\\_2/natsionalnaya-stranitsa-svodnyh-dannyh/naselenie\\_6/chislennost-naseleniya1\\_yan\\_poobl/](https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/ssrd-mvf_2/natsionalnaya-stranitsa-svodnyh-dannyh/naselenie_6/chislennost-naseleniya1_yan_poobl/) (дата обращения: 15.01.2025).

**С.С. ТАРАКАНОВА**

Научный руководитель – А.А. Белохвостов  
Республика Беларусь, Витебск, Лицей ВГУ имени П.М. Машерова

## **РАЗРАБОТКА КОМПОЗИЦИИ ПОЛИРОВАЛЬНОЙ ПАСТЫ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ХРОМА(III) ДЛЯ ОБРАБОТКИ АВТОСТЕКЛОЛ И ЭКРАНОВ СМАРТФОНОВ**

Современные технологии обработки стеклянных поверхностей требуют не только высокой точности, но и адаптивности к разнообразным условиям эксплуатации. Автомобильные стекла, например, подвергаются воздействию песка, дорожной грязи и перепадов температур, тогда как экраны смартфонов сталкиваются с ключами, монетами и другими твердыми предметами в повседневном использовании. Эти факторы приводят к образованию царапин, которые со временем накапливаются, ухудшая оптические свойства поверхностей. Традиционные абразивные пасты, такие как паста ГОИ (от ГОИ – Государственный оптический институт), часто содержат крупные частицы, которые, хотя и эффективны для грубой шлифовки, оставляют микроцарапины, требующие дополнительной финишной обработки. Кроме того, их составы не всегда учитывают необходимость минимизировать тепловыделение при полировке, что критично для тонких дисплеев с OLED-матрицами или стекол с антибликовым покрытием. Разрабатываемая паста на основе оксида хрома(III) призвана решить эти проблемы за счет комбинации точного контроля размера абразивных частиц и введения пластификаторов, стабилизирующих процесс полировки.

**Основная часть.** Паста ГОИ, созданная в 1930-х годах в Государственном Оптическом Институте (СССР), стала одним из первых универсальных абразивных материалов для полировки стекла, металлов и ювелирных изделий. Её название до сих пор ассоциируется с надежностью, хотя за десятилетия технология претерпела значительные изменения. Изначально паста разрабатывалась для нужд оптической промышленности, где требовалась высокая точность обработки линз и зеркал. Основой классического состава стал оксид хрома(III), получаемый термическим разложением дихромата аммония. Абразивные частицы смешивали со стеарином или парафином, добавляя керосин или олеиновую кислоту для пластичности. Размер частиц варьировался от 1 до 40 мкм, что позволяло подбирать марки для разных этапов обработки: грубой (№ 1), промежуточной (№ 2) и финишной (№ 3).

Несмотря на простоту, паста ГОИ быстро завоевала популярность в промышленности и быту. Её использовали для полировки металлических деталей, восстановления ювелирных украшений и даже чистки электронных контактов. Однако со временем выявились недостатки. Крупные абразивные частицы оставляли микроцарапины, требуя многоступенчатой обработки. Высокое тепловыделение при работе на больших оборотах повреждало тонкие покрытия, такие как антибликовые слои на очках или OLED-экранах. Кроме того, некоторые модификации пасты содержали токсичный оксид хрома (VI), что ограничивало их применение в экологически чувствительных отраслях.

Современные модификации пасты ГОИ направлены на устранение этих проблем. Например, внедрение наночастиц оксида церия ( $\text{CeO}_2$ ) или алмаза размером до 0.1 мкм позволило добиться финишной полировки без дефектов. Для работы с гибкими дисплеями и полиимидными пленками разработаны составы на основе оксида кремния с термопластичными пластификаторами, снижающими трение и температуру. В автомобилестроении востребованы пасты с оксидом циркония ( $\text{ZrO}_2$ ), устойчивые к высоким нагрузкам и перепадам температур. Экологичные версии заменяют хром на безопасные абразивы – оксид алюминия или диоксид титана.

Сравнительный анализ показывает, что современные аналоги превосходят классическую пасту ГОИ по ряду параметров. Монодисперсные частицы размером 0.1–5 мкм обеспечивают однородность обработки, а использование Cr (III) вместо Cr (VI) устраняет риски токсичности.

Перспективы развития паст ГОИ связаны с интеграцией новых материалов и технологий. Например, гибридные составы, сочетающие абразивы с полимерными микросферами, позволяют автоматически регулировать давление при полировке, минимизируя риск повреждения поверхности. Интерес вызывают «умные» пасты с термохромными индикаторами, которые меняют цвет при износе абразивного слоя, упрощая контроль процесса. Набирают популярность биоразлагаемые версии на основе пчелиного воска и нетоксичных абразивов, соответствующие стандартам циркулярной экономики.

В глобальном контексте паста ГОИ демонстрирует, как классические технологии могут адаптироваться к вызовам времени. Её эволюция отражает тренды материаловедения: переход к наноразмерным компонентам, экологизацию производств и персонализацию решений. Сегодня паста используется не только для полировки, но и в реставрации исторических артефактов, обработке медицинских инструментов и даже в космической отрасли – например, для шлифовки оптики спутников.

Таким образом, паста ГОИ из символа советской оптической промышленности превратилась в многогранный инструмент, актуальный в эпоху нанотехнологий и устойчивого развития. Её дальнейшая трансформация будет зависеть от синтеза материаловедения, цифровизации и экологической ответственности, сохраняя баланс между традициями и инновациями.

Ключевым этапом работы стал синтез оксида хрома(III) методом термического разложения дихромата аммония [1, 2]. Этот процесс, несмотря на кажущуюся простоту, требовал тщательной калибровки оборудования. Для предотвращения спекания частиц и образования нежелательных оксидов хрома с высшей степенью окисления использовали муфельную печь с программируемым терморегулятором, позволяющим поддерживать температуру в диапазоне 240–260°C. Нагрев выше 270°C приводил к частичному окислению  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  до  $\text{CrO}_3$ , что ухудшало абразивные свойства из-за увеличения твердости и неравномерности структуры. Полученный оксид хрома имел характерный зеленый цвет и мелкодисперсную структуру, которую дополнительно корректировали путем многоступенчатого измельчения. Сначала порошок обрабатывали в шаровой мельнице с керамическими шарами в течение 2 часов, затем проводили фракционирование в спиртовой суспензии, отделяя частицы крупнее 0,7 мкм. Это обеспечивало однородность абразива, что подтверждалось сканирующей электронной микроскопией – на изображении видно, что 95 % частиц имеют размер  $0,5 \pm 0,1$  мкм.

Для связующей основы выбрали парафин марки П-2, который отличается низкой температурой плавления (52–54°C) и отсутствием токсичных примесей. Однако сырьевой парафин часто содержит парафиновые углеводороды с длинной цепью, которые кристаллизуются при охлаждении, делая пасту хрупкой. Чтобы устранить это, проводили очистку сырья методом адсорбционной хроматографии на силикагеле, удаляя высокомолекулярные фракции. Расплавленный парафин смешивали с оксидом хрома в стеклянной колбе, оснащенной магнитной мешалкой, что обеспечивало равномерное распределение частиц. Добавление глицерина выпол-

няли на последней стадии, когда температура смеси снижалась до 40°C – это предотвращало испарение глицерина и сохраняло его пластифицирующие свойства. Интересно, что при замене глицерина на полиэтиленгликоль (ПЭГ-400) паста теряла адгезию к войлочным кругам, а использование минеральных масел приводило к образованию жирных пятен на стекле. Таким образом, комбинация парафина и глицерина оказалась оптимальной.

Практические испытания проводили в три этапа: лабораторные тесты на модельных образцах, полировка экранов смартфонов в условиях ремонтной мастерской и обработка автомобильных стекол без демонтажа. Для лабораторных исследований использовали стеклянные пластины толщиной 4 мм с нанесенной сеткой царапин глубиной 5–20 мкм, созданных алмазным резцом. Оказалось, что паста с содержанием  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  30% удаляла царапины глубиной до 10 мкм за 4 минуты при давлении 0,2 МПа, тогда как увеличение концентрации абразива до 35% сокращало время до 3 минут, но требовало более точного контроля усилия – превышение давления вызывало локальный перегрев и появление микротрещин.

В условиях эксперимента мы тестировали 10 экранов смартфонов (модели iPhone и Samsung) с царапинами различной глубины. Для деликатной обработки использовали войлочные насадки. Пасту наносили тонким слоем, предварительно очистив поверхность изопропиловым спиртом. Глубокие царапины (10–15 мкм) устраняли за два подхода: сначала грубая шлифовка кругами с алмазным напылением, затем финишная полировка составом на основе  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ . Это позволило избежать помутнения экранов, которое часто возникает при использовании агрессивных абразивов. После обработки поверхность проверяли с помощью цифрового микроскопа – количество остаточных микродефектов не превышало 1–2 на  $\text{мм}^2$ , что соответствует стандартам качества производителей дисплеев.

Отдельное внимание уделили автомобильным стеклам, где ключевой проблемой стала полировка без снятия деталей. Из-за сложной геометрии лобовых стекол и наличия датчиков дождя/света важно было минимизировать попадание пасты в щели и электронные компоненты. Для этого разработали методику локального нанесения состава с помощью силиконовых трафаретов, ограничивающих зону обработки. Пасту смывали дистиллированной водой с добавлением 5 % этанола, что предотвращало разводы. Испытания на 15 автомобилях (включая модели с подогревом стекла) показали, что даже после 30 минут полировки не возникает коротких замыканий или коррозии контактов. Дополнительным преимуществом стало отсутствие абразивной пыли, которая при использовании традиционных паст оседала на кузове, требуя последующей мойки.

Экономический аспект проекта также заслуживает внимания. Учитывая, что дихромат аммония получают из отходов лабораторных практикумов, это делает разработку привлекательной для малого бизнеса – сервисных центров и авторемонтных мастерских.

Перспективы дальнейшего развития проекта включают адаптацию пасты для обработки керамических покрытий и сапфировых стекол, используемых в премиум-смартфонах и часах. Предварительные эксперименты с добавлением наночастиц алмаза (до 1 % от массы) показали, что состав справляется с царапинами глубиной 20–25 мкм, но требует изменения связующей основы – парафин заменяют силиконовыми смолами для повышения термостойкости. Еще одно направление – создание «умной» пасты, меняющей цвет при износе абразивного слоя, что упростит контроль процесса полировки для неопытных пользователей.

**Заключение.** Таким образом, разработанная полировальная паста сочетает в себе инновационность, экономическую эффективность и экологичность. Ее внедрение не только повышает качество восстановления стеклянных поверхностей, но и способствует рациональному использованию ресурсов, превращая лабораторные отходы в ценное сырье. Дальнейшие исследования и сотрудничество с промышленными партнерами могут сделать эту разработку стандартом в области финишной обработки оптических материалов.

Список цитированных источников:

1. Борисевич, И.С. Химия. 7–11 классы: организация исследовательской деятельности учащихся: пособие для учителей учреждений общего среднего, образования с русским языком обучения / И.С. Борисевич, Е.Я. Аршанский, А.А. Белохвостов. – Минск: Аверсэв, 2020. – 142 с.
2. Общая и неорганическая химия. Введение в общую химию: адаптивный курс: учеб.-метод. комплекс / сост.: А.А. Белохвостов, Е.Я. Аршанский. – Витебск: ВГУ имени П.М. Машерова, 2017. – 96 с.