

ХИМИЯ

Научная статья

УДК 678.744.32:541.128

**Неорганические молибдаты как функциональные дымоподавляющие присадки
для ПВХ-пластиков и кабелей с пониженной горючестью**

Владислав Владимирович Хасанов¹, Тимур Абдулович Борукаев²

^{1,2}Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова, Кабардино-Балкарская Республика, Нальчик, Россия

¹vlad.khasanov.2017@mail.ru

²boruk-chemical@mail.ru

Аннотация. В работе представлены результаты исследования, направленные на разработку дымоподавляющих присадок для пластифицированного поливинилхлорида на основе неорганических молибдатов. Исследовано влияние природы катиона молибдата и поверхностной модификации частиц на термическую деструкцию, дымообразование и механические свойства ПВХ-пластиков. Установлено, что модифицированные молибдаты кальция и магния обеспечивают снижение дымности до 55 % и повышение температуры начала разложения на 30-35 °С. Показана перспективность применения молибдатных присадок при создании малодымных ПВХ-композиций технического назначения.

Ключевые слова: поливинилхлорид, пластикат, дымоподавляющие присадки, молибдаты, свойства

Для цитирования: Хасанов В.В., Борукаев Т.А. Неорганические молибдаты как функциональные дымоподавляющие присадки для ПВХ-пластиков и кабелей с пониженной горючестью // Известия Кабардино-Балкарского государственного университета. 2026. Т. 16, № 2. С. 100–105.

CHEMISTRY

Original article

**Inorganic molybdates as functional flame-retardant additives
for PVC-plastics and low-flammability cables**

Vladislav V. Khasanov¹, Timur A. Borukaev²

^{1,2}Kabardino-Balkarian State University, Kabardino-Balkarian Republik, Nal'chik, Russia

¹vlad.khasanov.2017@mail.ru

²boruk-chemical@mail.ru

Abstract. The paper presents dissertation research results aimed at the development of smoke-suppressing additives for plasticized polyvinyl chloride based on inorganic molybdates. The influence of molybdate cation nature and surface modification on thermal degradation, smoke formation, and mechanical properties of PVC plasticates is studied. Modified calcium and magnesium molybdates were shown to reduce smoke density by up to 55 % and increase the onset decomposition temperature by 30-35 °C. The obtained results demonstrate the prospects of molybdate additives for low-smoke PVC materials.

Keywords: polyvinyl chloride, PVC plasticate, smoke suppression, molybdates, thermal degradation

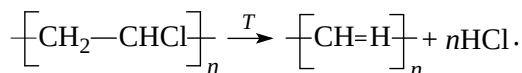
For citation: Khasanov V.V., Borukaev T.A. Inorganic molybdates as functional flame-retardant addi-

tives for PVC-plastics and low-flammability cables. *Proceeding of the Kabardino-Balkarian State University*. 2026;16(2):100–105. (In Russ.).

Введение

Пластифицированный поливинилхлорид широко применяется в строительстве, кабельной промышленности и производстве технических изделий. Существенным недостатком ПВХ является интенсивное дымообразование при термическом воздействии, обусловленное дегидрохлорированием макромолекул и образованием полиеновых и ароматических структур [1, 2].

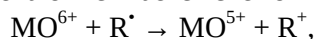
Термическая деструкция ПВХ начинается с реакции дегидрохлорирования:



Выделяющийся хлористый водород катализирует дальнейшее разложение, что приводит к образованию сажи и дыма. Введение молибдатных присадок позволяет:

- замедлять автокаталитическое дегидрохлорирование;
- снижать концентрацию свободных радикалов;
- способствовать формированию защитного минерального остатка.

Редокс-активность ионов молибдена описывается схемой



что приводит к обрыву цепных реакций термического разложения.

Одним из перспективных направлений снижения дымообразования является использование неорганических дымоподавляющих присадок, способных ингибировать процессы термической деструкции и способствовать формированию защитного минерального слоя [3-6]. В данной работе рассматриваются неорганические молибдаты как функциональные дымоподавляющие добавки для ПВХ-пластиков.

Цель работы – разработка и исследование дымоподавляющих присадок на основе неорганических молибдатов для ПВХ-пластиков.

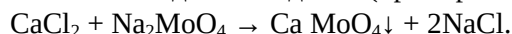
Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- синтез молибдатов щелочных и щелочноземельных металлов;
- модификация поверхности молибдатных частиц для повышения их совместимости с ПВХ;
- исследование влияния молибдатов на термическую стабильность и дымообразование ПВХ-пластиков;
- оценка изменения механических свойств композиций.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являлись ПВХ-пластики, содержащие молибдаты натрия, кальция и магния. Содержание молибдатов варьировали в интервале от 2 до 10 масс. %. В качестве исходного ПВХ пластика использовали промышленную марку И40-13А.

Синтез молибдатов осуществляли методом осаждения (пример получения молибдата кальция):



Модификацию поверхности частиц молибдатов проводили стеаратом натрия при 80–90 °С.

Методы исследования включали:

- термогравиметрический анализ;
- определение дымности по оптической плотности продуктов горения;
- механические испытания при растяжении;
- морфологический анализ распределения присадок.

Результаты и обсуждение

Термическая стабильность. Установлено, что введение молибдатных присадок приводит к смещению температуры начала термической деструкции ПВХ пластика (рисунки 1, 2), а также температуры (рисунки 3), соответствующей 10 % потери массы, в область более высоких температур. Максимальный эффект наблюдается для модифицированного молибдата кальция (рисунки 2, кривая 3). Добавки молибдатов повысили температуру начала разложения ПВХ пластика на 15–35 °С по сравнению с

исходным компаундом (без молибдатов). Наиболее эффективным оказался CaMoO_4 , обработанный стеаратом кальция (повышение более чем на 30 °C).

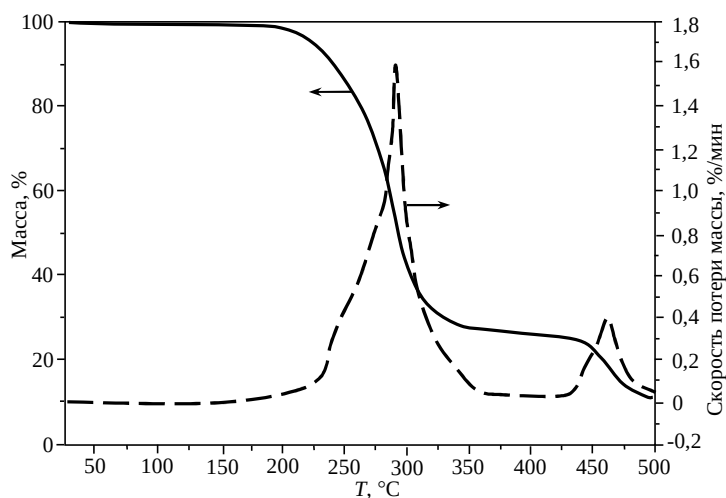


Рисунок 1 – Термогравиметрические кривые ПВХ-пластиков (контрольный образец)

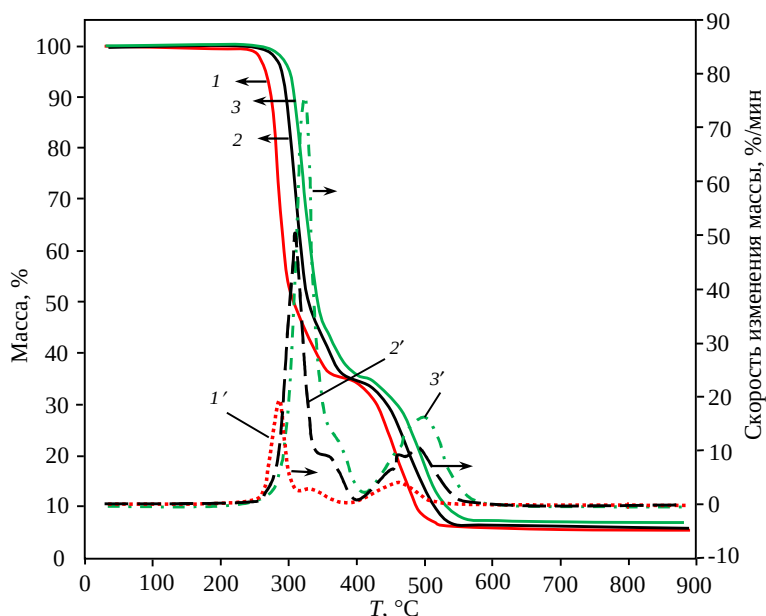


Рисунок 2 – Термогравиметрические кривые для ПВХ-пластиков: 1, 1' – ПВХ + 5 % CaMoO_4 ; 2, 2' – ПВХ + 10 % CaMoO_4 ; 3, 3' – ПВХ + 10 % модиф. CaMoO_4

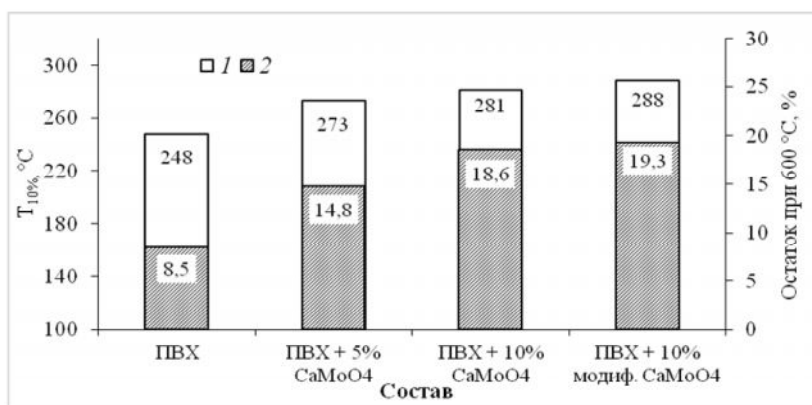


Рисунок 3 – Зависимость температуры потери 10 % массы (1) и остатка при 600 °C (2) по результатам ТГА ПВХ-пластиков

Дымоподавление. Сравнение горения и дымообразования у образцов ПВХ-пластиков по-

казаны на рисунке 4.

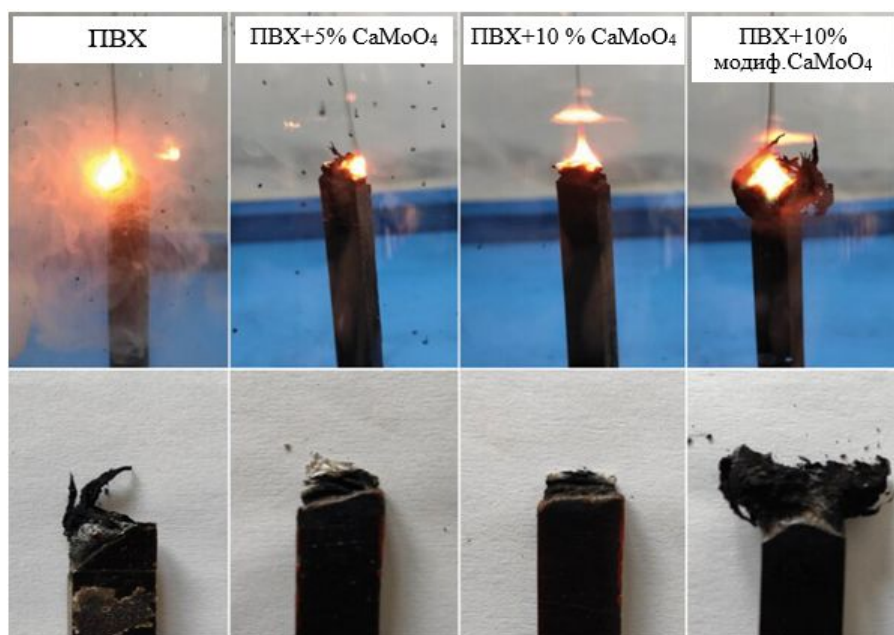


Рисунок 4 – Сравнение горения и дымообразования ПВХ-пластиков

Анализ результатов эксперимента (рисунки 5 и 6) показал, что эффективность дымоподавления определяется не только концентрацией молибдата (рисунки 5 и 6), но и степенью его диспергирования в полимерной матрице (рисунок 6). Дымность, оцениваемая по оптической плотности продуктов горения, снижалась на 45–70 % при добавлении 5–10 масс. % модифицированных молибдатов.

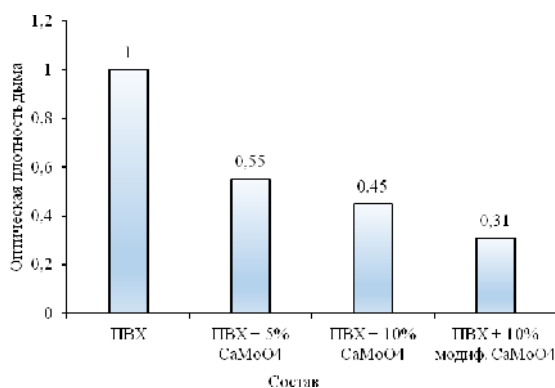


Рисунок 5 – Оптическая плотность дыма при сгорании ПВХ-пластиков

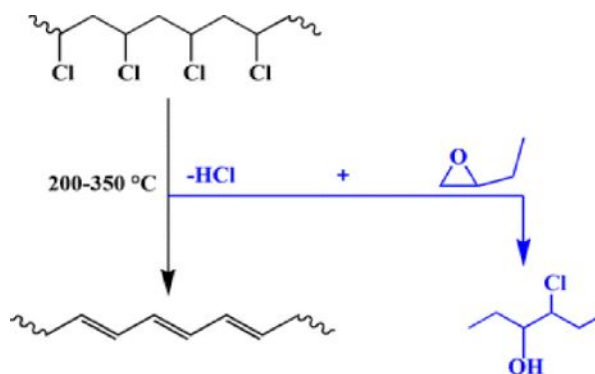


Рисунок 6 – Схематическое представление механизма дымоподавления ПВХ молибдатными присадками

Комбинация молибдатов щелочноземельных металлов продемонстрировала более высокую эффективность по сравнению с молибдатами щелочных металлов. Это подтверждается данными всех представленных диаграмм и микрофотографий и объясняется формированием более устойчивой оксидной фазы, а также образованием адсорбционного слоя продуктов разложения.

Механические свойства. На основании экспериментальных данных предложен механизм комплексного дымоподавляющего действия молибдатов, включающий ингибирование дегидрохлорирования, обрыв радикальных цепей и формирование защитного оксидного слоя.

Композиции, содержащие до 10 масс. % молибдатов с модифицированной поверхностью, сохраняли прочностные характеристики на уровне контрольных материалов. Более высокие концентрации (> 12 масс. %) приводили к некоторому ухудшению удлинения при разрыве, что связано с агрегированием частиц.

Морфология. На основании экспериментальных данных предложен механизм комплексного ды-

моподавляющего действия молибдатов, включающий ингибирование дегидрохлорирования, обрыв радикальных цепей и формирование защитного оксидного слоя. Микроструктурный анализ (рисунок 7) показал, что поверхностная модификация молибдатов обеспечивает более равномерное распределение частиц в ПВХ-матрице и снижает их агрегацию.

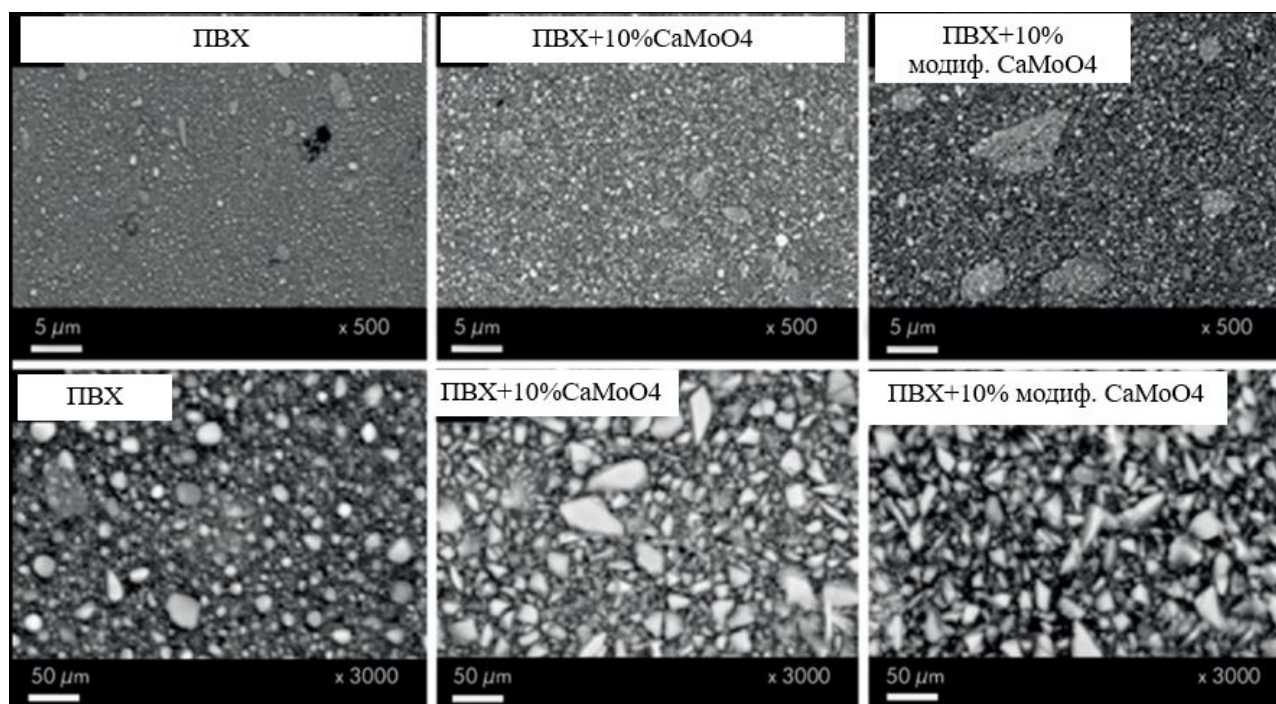


Рисунок 7 – СЭМ-изображения структуры ПВХ-пластиков

Заключение

Результаты проведённого исследования показали, что неорганические молибдаты, особенно молибдаты кальция и магния с поверхностной модификацией, являются эффективными дымоподавляющими присадками для ПВХ-пластиков. Их использование позволяет существенно снизить дымообразование и повысить термическую стабильность материала без существенного ухудшения механических свойств.

Библиография

1. Рабинович А.М. Поливинилхлорид и композиционные материалы на его основе. М.: Химия, 2016. 320 с.
2. Кузнецов Н.Н., Смирнов В.А. Дымообразование полимерных материалов. СПб.: Профессия, 2018. 284 с.
3. Chen J., Li Q. Effect of molybdate compounds on thermal degradation of PVC // Polymer Degradation and Stability. 2019. V. 165. P. 45–52.
4. Zhang X., Wang C. Smoke suppression mechanisms in PVC composites // Journal of Applied Polymer Science. 2020. V. 137, N 12. P. 118–125
5. Хасанов В.В., Борукаев Т.А., Мусаева Л.А., Кяров А.А. Исследование эффективности использования синтезированного $ZnMoO_4$ в качестве дымогасителя для ПВХ компаундов // Научно-технический вестник Поволжья. 2018. № 5. С. 66–69.
6. Хасанов В.В., Борукаев Т.А., Кипшиева Т.А., Фотова Д.М. Синтез дымоподавляющих присадок на основе неорганических молибдатов к ПВХ-пластику и исследование их антидымных характеристик // Научно-технический вестник Поволжья. 2016. № 4. С. 32–34

References

1. Rabinovich A.M. Polyvinyl chloride and composite materials based on it. Moscow: Khimiya, 2016. 320 pp. (In Russ.).
2. Kuznetsov N.N., Smirnov V.A. Smoke Formation of Polymer Materials. St. Petersburg: Professiya, 2018. 284 p. (In Russ.).
3. Chen J., Li Q. Effect of molybdate compounds on thermal degradation of PVC. *Polymer Degradation and Stability*. 2019;165:45–52.
4. Zhang X., Wang C. Smoke suppression mechanisms in PVC composites. *Journal of Applied Polymer Science*. 2020;137(12):118.
5. Khasanov V.V., Borukaev T.A., Musaeva L.A., Kyarov A.A. Study of the effectiveness of using synthesized $ZnMoO_4$ as a smoke suppressant for PVC compounds. *Nauchno-tekhnicheskii Vestnik Povolzhya = Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region*. 2018;5:66–69. (In Russ.).
6. Khasanov V.V., Borukaev T.A., Kipshieva T.A., Fotova D.M. Synthesis of smoke-suppressing additives based on inorganic molybdates for PVC plastisol and investigation of their anti-smoke characteristics. *Nauchno-tekhnicheskii Vestnik Povolzhya = Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region*. 2016;4:32–34. (In Russ.).