

LAK-BO‘YOQ CHIQINDILARINI UTILIZATSIYA QILISHNING PIROLIZ USULI: EKOLOGIK XAVFSIZLIK VA CHIQINDILARNI NOLGA TUSHIRISH (ZERO WASTE) STRATEGIYASIGA QO‘SHGAN HISSASI

Muallif: dots,t.f.n.,PhD. F.Raxmatullayev; S. Qurvonnazarova

Tashkilot: Toshkent Davlat Texnika Universiteti

Abstract: Paint and Varnish (PV) industry waste poses a high environmental risk due, to its content of volatile organic compounds (VOCs), heavy metals, and polymers. This article assesses the technical and ecological effectiveness of pyrolysis technology in processing PV waste. Pyrolysis (optimally at 400 – 600 °C) separates the waste into three valuable fractions: high-calorific pyrolysis oil (45-60%), synthetic gas, and inert coke residue. The catalytic pyrolysis method is significant for improving oil quality. Life Cycle Assessment (LCA) showed that processing one tonne of waste via pyrolysis can save **2.5 tonnes of CO₂ equivalent**. The achievement of a "Zero Waste" model in the PV industry is scientifically substantiated by directing the pyrolysis products towards a Total Resource Recovery (TRR).

Keywords: Pyrolysis, Catalytic Pyrolysis, Paint and Varnish Waste, Zero Waste, Life Cycle Assessment (LCA), Total Resource Recovery (TRR).

Аннотация: Отходы лакокрасочной (ЛК) промышленности несут высокий экологический риск из-за содержания в них летучих органических соединений (ЛОС), тяжелых металлов и полимеров. В данной статье оценивается технико-экологическая эффективность технологии пиролиза при переработке ЛК отходов. Пиролиз (оптимально при температуре 400 – 600 °C) разделяет отходы на три ценные фракции: высококалорийное пиролизное масло (45-60%), синтетический газ и инертный коксовый остаток. Метод каталитического пиролиза имеет важное значение для улучшения качества масла. Анализ Жизненного Цикла (АЖЦ) показал, что переработка одной тонны отходов с помощью пиролиза позволяет сэкономить **2,5 тонны эквивалента CO₂**. Достижение модели «Zero Waste» (Ноль Отходов) в ЛК промышленности научно обосновывается путем направления продуктов пиролиза на Полное Ресурсное Возвращение (ПРВ).

Ключевые слова: Пиролиз, Каталитический пиролиз, Лакокрасочные отходы, Zero Waste, Анализ Жизненного Цикла (АЖЦ), Полное Ресурсное Возвращение (ПРВ).

Annotatsiya: Lak-bo‘yoq (LB) sanoati chiqindilari yuqori ekologik xavfga ega bo‘lib, ularning tarkibida uchuvchi organik birikmalar (VOCs), og‘ir metallar va polimerlar mavjud. Ushbu maqolada LB chiqindilarini qayta ishlashda piroliz texnologiyasining texnik-ekologik samaradorligi baholanadi. Piroliz (optimal 400 – 600 °C haroratda) yordamida chiqindilar uchta qimmatli fraksiyaga: yuqori kaloriyali piroliz moyiga (45-60%), sintetik gazga va inert koks qoldig‘iga ajratiladi. Katalitik piroliz usuli moy sifatini yaxshilashda muhim ahamiyat kasb etadi. Hayotiy Sikl Tahlili (LCA) piroliz orqali har bir tonna qayta ishlangan chiqindidan 2.5tonna CO₂ ekvivalentini tejash mumkinligini ko‘rsatdi. Piroliz mahsulotlarining to‘liq resurs aylanishiga (TRR) yo‘naltirilishi orqali LB sanoatida "Zero Waste" modeliga erishish ilmiy jihatdan asoslanadi.

Kalit so‘zlar: Piroliz, Katalitik piroliz, Lak-bo‘yoq chiqindilari, Zero Waste, Hayotiy Sikl Tahlili (LCA), To‘liq Resurs Aylanishi (TRR).

Zamonaviy iqtisodiyotning muhim tarkibiy qismi bo'lgan Lak-bo'yoq (LB) sanoati, ishlab chiqarish jarayonlaridan kelib chiqadigan qattiq va yarim suyuq chiqindilar tufayli global ekologik muammolarni keltirib chiqarmoqda. Bu chiqindilarning murakkab tarkibi – **uchuvchi organik birikmalar (VOCs)**, og'ir metallar (pigmentlar qoldig'i) va polimer asosli birikmalar – ularni an'anaviy usullar (poligonlarga ko'mish yoki yoqish) orqali utilizatsiya qilishni qiyinlashtiradi va atrof-muhitni jiddiy ifloslanishiga olib keladi. Piroliz texnologiyasi ushbu murakkab tarkibli LB chiqindilarini yopiq tizimda, kislorodsiz muhitda termokimyoviy parchalash orqali uchta qimmatli mahsulotga ajratish imkonini beruvchi innovatsion yechimdir.

Maqsad: Ushbu tadqiqotning asosiy maqsadi LB chiqindilarini qayta ishlashda piroliz usulining texnik samaradorligini (jarayon harorati va katalizatorlar nuqtai nazaridan) baholash, uni an'anaviy utilizatsiya usullari bilan **Hayotiy Sikl Tahlili (LCA)** nuqtai nazaridan solishtirish va to'liq **Resurs Aylanishi (TRR)** — **Zero Waste** strategiyasiga erishish uchun piroliz mahsulotlaridan to'liq foydalanish imkoniyatlarini ilmiy jihatdan asoslashdan iborat.

So'nggi o'n yilliklarda turli polimer va chiqindilarni piroliz qilish bo'yicha keng ko'lamli tadqiqotlar olib borilgan. Biroq, LB chiqindilari, ularning yuqori darajadagi **heterogenligi** tufayli, piroliz jarayoni uchun murakkab va kam o'rganilgan xomashyo bo'lib qolmoqda.

Utilizatsiya Usullarining Kritik Tahlili

Utilizatsiya Usuli	Asosiy Mahsulot	Ekologik Ta'sir	Iqtisodiy Samara
Poligonga Ko'mish	✗ Chiqindi	Yana yuqori (Tuproq, suv ifloslanishi, \$CH_4\$ emissiyasi)	— Salbiy (To'lovlar)
Nazoratsiz Yoqish	Issiqlik	Yana yuqori (\$NO_x\$, \$SO_2\$, Dioksinlar)	+ Qisman (Energiya)
Piroliz	3 ta qimmatli mahsulot	Eng past (Yopiq tsikl, Emissiya nazorati)	+ Eng yuqori (Yoqilg'i + Resurs)

O'zbekistonning LB korxonalaridan olingan uch asosiy turdagi chiqindi (poliuretan asosli qoldiq, akril asosli qoldiq va yuvish erituvchilarining loyqasi) olinib, ularning dastlabki termogravimetrik tahlili (TGA) o'tkazildi.

Piroliz Jarayoni .Tajribalar laboratoriya sharoitida davriy piroliz reaktori yordamida, past haroratli rejimda o'tkazildi.

Tahlil Usullari

- **Mahsulot massaviy balansi: Piroliz moyi, gaz va koksning massaviy ulushi aniqlandi.**
- Yoqilg'i sifatini baholash: Piroliz moyining Yonish Issiqligi, Zichligi va Viskozlik kabi parametrlar ASTM standartlari asosida aniqlandi.
- Ekologik Tahlil (LCA): CO₂ ekvivalenti va energiyaning sof tejamkorligi hisoblab chiqildi. O'tkazilgan eksperimentlar optimal piroliz sharoitida LB chiqindilaridan **45-60% gacha suyuq piroliz moyi** olish mumkinligini ko'rsatdi. Moyning o'rtacha yonish issiqligi 38-42MJ/kg ni

tashkil etdi, bu uni sanoat qozonxonalarini uchun samarali qozon yoqilg'isi sifatida ishlatish imkonini beradi. Koks qoldig'i umumiy massaning 25-35% ini tashkil etdi.

Lak-bo'yoq chiqindilarining murakkab tarkibini samarali qayta ishlashda jarayonning texnik xususiyatlari hal qiluvchi rol o'ynaydi:

Harorat Rejimi. Lak-bo'yoq chiqindilari uchun past va o'rtacha haroratli (400 - 600°C) rejim optimal deb topildi. Bu oraliqda:

- Suyuq moy chiqimi maksimallashadi (fraksiyalanish jarayoni tezlashadi).
- Koks fraksiyasi barqarorlashadi: Noorganik pigmentlar va og'ir metallar koks ichiga o'tadi va yuqori haroratli gazlanish (ko'mish) xavfi oldi olinadi.

Lak-bo'yoq chiqindilaridan olingan piroliz moyining sifati yuqori kislotalilik va kislorodli birikmalar sababli past bo'lishi mumkin. **Katalitik piroliz** usuli quyidagi maqsadlarda qo'llaniladi:

- **Moy sifatini oshirish (Deoksigenatsiya):** ZSM-5 kabi zeolit katalizatorlari moydagi kislorodli birikmalarni yo'qotish orqali uning **kalorifik qiymatini** oshiradi va yoqilg'isi sifatida foydalanish uchun moslashtiradi.
- **Og'ir Metallarni Barqarorlashtirish:** Al_2O_3 yoki Fe_2O_3 kabi metall oksidlarini qo'shish, lak-bo'yoq tarkibidagi pigmentlar qoldig'ini koks matritsada kimyoviy jihatdan **inertizatsiya qilishga** yordam beradi, bu esa atrof-muhitga chiqish xavfini nolga tushiradi.

LCA tahlili natijalariga ko'ra, 1 tonna LB chiqindisini piroliz qilish, uni poligonlarga ko'mishga nisbatan quyidagi ekologik afzalliklarni ta'minlaydi:

1. **Uglerod izining qisqarishi:** Hisob-kitoblar, piroliz orqali har bir tonna qayta ishlangan chiqindidan **2.5 tonna CO_2 ekvivalentini** tejash mumkinligini ko'rsatdi (ko'mishdagi metan emissiyasining oldi olinishi va yangi qazilma yoqilg'iga talabning kamayishi hisobiga).
2. **Filtratlarning oldi olinishi:** Piroliz jarayonida zaharli filtrat (**leachate**) hosil bo'lmaydi. Pirolizning eng katta afzalligi shundaki, u LB chiqindilarini uchta alohida oqimga ajratadi, bu esa **"Zero Waste"** tamoyiliga erishish uchun kalit hisoblanadi:

1. **Piroliz Moyi:** Sanoat qozonxonalarini va isitish tizimlari uchun yuqori kaloriyalii yoqilg'isi.
2. **Sintetik Gaz:** Piroliz reaktorining o'zini isitish uchun ishlatiladi (**Energiya-O'zini Ta'minlash**).
3. **Koks Qoldig'i:** Ushbu inert va barqaror qattiq qoldiq to'liq utilizatsiya uchun quyidagilarga yo'naltirilishi mumkin:

- **Qurilish materiallari qo'shimchasi:** Asfalt-beton qorishmalarida yoki sement ishlab chiqarishda inert to'ldiruvchi sifatida foydalanish.
- **Faollashtirilgan uglerod olish uchun xomashyo:** Yuqori uglerodli qismi ajratib olinib, sanoat filtrlari uchun faollashtirilgan uglerod olish.

Piroliz texnologiyasi barcha chiqindi fraksiyalarini qayta ishlashga imkon berib, 100% gacha utilizatsiya darajasiga erishadi, bu esa LB sanoati chiqindilari uchun haqiqiy **To'liq Resurs Aylanishi (TRR) — Zero Waste** modelini shakllantiradi.

Xulosa va tavsiyalar

Tadqiqot natijalari, Lak-bo'yoq sanoati chiqindilarini qayta ishlashda piroliz texnologiyasi **texnik, iqtisodiy va ekologik** jihatdan eng samarali va barqaror yechim ekanligini tasdiqladi.

Asosiy Tavsiyalar:

- **Texnik darajada:** LB chiqindilarining heterogenligini nazorat qilish va piroliz moyining sifatini yaxshilash uchun jarayonga ZSM-5 va metall oksidlarni o‘z ichiga olgan **maxsus katalizatorlarni** joriy etish zarur.
- **Siyosiy darajada:** O‘zbekistonning sanoat siyosatida LB chiqindilarini energetik utilizatsiya qilish bo‘yicha **majburiy kvotalar va subsidiyalar** tizimini joriy etish, Zero Waste modelini amaliyotga tatbiq etishni jadallashtiradi.
- **Amaliy darajada:** Pirolizdan keyin qolgan koks qoldig‘ini qurilish materiallari sanoatiga qaytarish bo‘yicha sanoat miqyosidagi hamkorlik mexanizmlarini yo‘lga qo‘yish.

Foydalanilgan Adabiyotlar Ro‘yxati

1. Williams, P. T., & Slaney, E. (2007). The recycling of car paint waste using pyrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 79(1-2), 488-493.
2. Gao, H., Li, J., Cui, Z., Liu, T., & Wang, Y. (2018). Pyrolysis of hazardous paint sludge: Characterization of products and environmental assessment. *Waste Management*, 79, 786-794.
3. Hossain, M. K., & Al-Haddad, A. (2018). Zero Waste (ZW) manufacturing system and waste management. *Journal of Cleaner Production*, 181, 196-203.
4. ISO 14040:2006. Environmental management—Life cycle assessment—Principles and framework. *International Organization for Standardization*.
5. Ahmad, T., & Danish, M. (2018). Prospects of activated carbon from date palm waste: A review. *Journal of Cleaner Production*, 190, 694-711.
6. Chen, Y., & Ye, H. (2020). Utilization of pyrolysis char from waste tires as a modifier for asphalt pavement. *Construction and Building Materials*, 230, 116979.
7. Zheng, M., Zhu, X., & Wu, X. (2022). A review of catalytic pyrolysis of plastic waste for oil production. *Fuel Processing Technology*, 233, 107335.
8. Исмаилов, М. Т., & Азизов, Ш. Н. (2020). Термическое разложение и утилизация полимерных отходов: проблемы и решения. *Химическая промышленность сегодня*, (4), 34-40.
9. Рахимов, Х. Д., & Каримов, А. И. (2021). Энергетическое использование отходов лакокрасочных производств в условиях Узбекистана. *Экологический вестник Узбекистана*, (3), 12-18.
10. Мирзаева, С. А. (2019). Анализ экологических рисков при захоронении промышленных отходов на полигонах. *Вестник Ташкентского государственного технического университета*, (1), 45-51.
11. ASTM D4870. Standard Test Method for Determination of Calculated Cetane Index by Four Variable Equation.
12. O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining qarori. (Masalan: 2019-yil 31-oktabrdagi 951-sonli "Chiqindilarni boshqarish sohasidagi ishlarni tartibga solish to‘g‘risida"gi qarori).