Від даних про рецептури до інтелектуального підходу в розробці лакофарбових матеріалів

дата публікації: 2026.11.02



Чому науково-дослідна робота у сфері лакофарбових покриттів потребує інтегрованих даних, структурованих робочих процесів та розробки рецептур із використанням штучного інтелекту.

В ідеалі нові проєкти з розробки рецептур починаються з того, що компанія вже накопичила за роки науково-дослідної роботи. Проте, поки всі говорять про штучний інтелект (ШІ), багато науково-дослідних команд (R&D-команд) стикаються з більш фундаментальною проблемою: рецептури, звіти, дані вимірювань, проєктні рішення та технологічні нотатки зберігаються розрізнено - в Excel-файлах, PDF-документах, локальних папках, експортованих даних приладів, ERP-системах, записниках та архівах.

Рис. 1. Material Intelligence об'єднує дані про матеріали, процеси та вимірювання з R&D- процесами та функціями ШІ, такими як пошук даних, аналіз даних та предиктивний штучний інтелект.

Деякі дані є надзвичайно актуальними, інші - застарілими, а деякі взагалі неможливо зрозуміти без людини, яка їх створила. Як наслідок, команди можуть повторювати випробування, не помічати корисних базових елементів рецептур або витрачати надто багато часу на пошук. Навіть штучний інтелект не принесе жодної користі, якщо вихідні дані не є структурованими, надійними та доступними.

Це створює конкурентний недолік для R&D-команд у лакофарбовій галузі. Клієнти очікують швидших циклів розробки, вищої ефективності, більш екологічних рішень та надійної документації. Доступність сировини може швидко змінюватися, а регуляторний тиск продовжує зростати. Водночас досвідчені фахівці з розробки рецептур виходять на пенсію, забираючи з собою знання, які не завжди фіксуються у структурованому вигляді. У таких умовах витрачати години на пошук відповідних попередніх даних або приймати рішення без чіткого розуміння попередніх результатів більше не є доцільним.

Питання не в тому, чи існує достатньо даних, а в тому, чи можна їх використовувати. Саме тут на допомогу приходить «Матеріальний інтелект» (Material Intelligence): він об'єднує дані, робочі процеси та ШІ таким чином, щоб наявні знання в галузі досліджень і розробок можна було шукати, порівнювати та застосовувати під час прийняття рішень у розробках. ШІ створює реальну цінність лише тоді, коли дані пов'язані з робочими процесами, в межах яких приймаються рішення (Рис. 1).

Коли наявні знання стають важкодоступними

Нещодавнє впровадження на середньому за розміром підприємстві-виробнику лакофарбових матеріалів демонструє, як розрізнені дані про рецептури можна перетворити на структуровану та зручну для використання базу знань. Цей виробник ЛФМ накопичив велику базу з понад 8000 рецептур. Однак дані були розподілені між таблицями Excel, PDF-звітами, локальними дисками, файлах вимірювальних приладів та документації окремих проєктів. Загалом доступна інформація містилася в понад 30 000 джерелах даних. Попри це, команда розробників не могла побачити, які рецептури є актуальними, які були успішними, які варіанти виявилися невдалими або яка сировина вже тестувалася за схожих умов.

Проблема полягала не у відсутності знань, а у відсутності структури, яка б робила ці знання придатними для щоденної роботи. Як зазначив керівник відділу розробки рецептур компанії: «Ми вже мали ці знання, але вони були розкидані серед тисяч файлів. Вони стали дійсно корисними лише тоді, коли ми створили централізовану структуру».

Наслідки були знайомі багатьом R&D-організаціям: розробники витрачали до 1 години щодня лише на пошук попередніх експериментів і схожих рецептур. Деякі варіанти тестувалися більше одного разу через те, що попередні результати не вдавалося знайти. Було важко виявити зв'язок між параметрами рецептури та експлуатаційними властивостями, такими як блиск, щільність, в'язкість або поведінка на критичних поверхнях.

Проблема полягала в тому, що інформація була фрагментована по всій організації, і її було важко використовувати, коли розробникам доводилося приймати рішення. Метою компанії було спростити пошук існуючих знань, їх порівняння та повторне використання в майбутніх проєктах.

Створення основи для Material Intelligence

Щоб вирішити цю проблему, компанія впровадила у своєму відділі досліджень і розробок платформу Material Intelligence. Її було розроблено на трьох взаємопов'язаних основах: дані, робочі процеси та ШІ. Замість того, щоб розглядати їх як окремі проєкти з цифровізації, компанія об'єднала їх в єдиному середовищі.

Крок 1: створення централізованої та уніфікованої бази даних. Існуючі джерела, такі як рецептури в Excel, оцінки в PDF, результати аналізів, файли вимірювань та інформація з ERP-системи, були структуровані. Програмне забезпечення було підключено до існуючого

інформаційного середовища компанії - від старих електронних таблиць і PDF-архівів до лабораторного обладнання, даних аналізів та інформації з ERP-систем (наприклад, цін на сировину). Дані вимірювань і технологічних процесів можуть імпортуватися автоматично, стандартизуватися та ставати доступними без додаткового ручного перенесення в електронні таблиці. Рисунок 2 показує, як ця інтеграція може охоплювати лабораторне обладнання, корпоративні системи та бази даних в єдиному R&D-середовищі.



Рис. 2. Повна інтеграція приладів поєднує реологічні, фізичні, аналітичні та хімічні випробування, а також перевірки на стабільність і сумісність із корпоративними системами та базами даних, забезпечуючи автоматизований імпорт даних і їх повторне використання в розробці рецептур.

Це змінило повсякденну роботу над рецептурами. Дані досліджень і розробок більше не були ізольовані в різних форматах чи місцях зберігання. Натомість вони стали доступними там, де були потрібні: у лабораторії, під час оцінювання та в управлінні проєктами. Наявні рецептури можна було надійніше порівнювати, а нові проєкти могли починатися з чіткішого розуміння того, що вже було випробувано. Попередні дані досліджень стали орієнтиром для вирішення завдань з розробки. Рецепт з попереднього проєкту можна було оцінювати не як окремий запис, а й у контексті вимірювань, сировини, умов тестування та рішень, пов'язаними з ним.

Крок 2: робочі процеси. Процес розробки рецептур був цифровим чином структурований від запиту на проєкт чи визначення замовлення до фінальної оцінки. Завдання, вимоги, результати вимірювань, стандарти тестування, примітки та рішення документувалися в одному місці. Це дало учасникам проєкту чітке бачення їхньої R&D-роботи та спростило відстеження причин, чому той чи інший шлях розробки рецептури було обрано або відхилено. Обґрунтування рішень залишатиметься доступним навіть через роки, наприклад, коли проєкти переходять до інших виконавців або коли досвідчені фахівці йдуть на пенсію.

Крок 3: Розробка з використанням штучного інтелекту
Маючи в розпорядженні структуровані, надійні та багаті на контекст дані, штучний інтелект може почати підтримувати розробку рецептур. Замість того, щоб шукати інформацію в електронних таблицях, звітах та архівах, розробники отримали змогу робити прямі запити до своїх даних з досліджень та розробок.

ШІ-асистент допомагає фахівцям відстежувати попередні проблеми з рецептурами, порівнювати схожі проєкти та визначати сировину чи технологічні умови, які вже забезпечували необхідні показники. Він також перетворює відповідні висновки у візуалізації, роблячи видимими ті взаємозв'язки, які інакше залишилися б прихованими в окремих звітах.

Це не означає передачу рішень щодо рецептур алгоритму. Система діє як помічник, а не як заміна експертної оцінки. Вона допомагає швидше знаходити відповідну інформацію, досліджувати можливі шляхи розробки та розуміти, чому певні пропозиції варто перевірити. Остаточне рішення залишається за експертами.

Від методу проб і помилок до розумнішого планування експериментів

Планування експериментів (Design of Experiments, DoE) вже використовується в багатьох середовищах розробки для структурування дослідницької роботи. Це допомагає визначати плани випробувань, порівнювати змінні у рецептурах та зменшувати кількість випадкових випробувань. Однак традиційне планування експериментів також має свої обмеження: воно вимагає від команд визначати відповідні змінні, рівні та діапазони ще до початку експериментів. Якщо ці припущення неповні, план може охопити ту частину простору рецептур, яка не є перспективною. Крім того, класичне планування експериментів зазвичай не є адаптивним: навіть коли перші результати вказують на інший напрям, команді все одно може знадобитися продовжувати роботу за заздалегідь визначеною матрицею. У складних рецептурах покриттів, де взаємодіє багато компонентів, це може призвести до зайвих витрат часу та ресурсів.

Саме тут методи на основі штучного інтелекту, такі як прогнозне моделювання та байєсівська оптимізація, можуть прискорити розробку. Ранні валідаційні роботи в LabV вказують на те, що прогнозування на основі ШІ може сприяти прийняттю рішень щодо рецептур, якщо базові дані достатньо структуровані та контекстуалізовані. Хоча детальні дані про ефективність ще не можуть бути розкриті, напрямок зрозумілий: замість того, щоб розглядати план експерименту як незмінний, оптимізація за допомогою ШІ може використовувати нові результати для уточнення наступних кроків і пріоритезації тих експериментів, які найімовірніше дадуть корисну інформацію. Для досліджень і розробок у галузі лакофарбових матеріалів це особливо актуально, оскільки зміна одного параметра може вплинути на низку властивостей, таких як в'язкість, поведінка при нанесенні, висихання, вартість або сумісність сировини. Довгострокова мета полягає не в тому, щоб замінити експертну оцінку, а в тому, щоб поєднати існуючі знання, експериментальне планування та оптимізацію на основі ШІ в адаптивному процесі розробки, що скоротить шлях від питання до першого випробування, і, зрештою, від першого випробування до цільової рецептури.

Описане впровадження є важливим кроком на шляху до цієї мети. Його безпосередня цінність полягає не в повністю автоматизованій оптимізації, а у створенні структурованої бази даних, яка зробила існуючі знання доступними для пошуку, порівняння та використання в повсякденній роботі.

Від структурованих даних до відчутних результатів науково-дослідних робіт

Після того, як понад 8000 рецептур були структуровані та гармонізовані, R&D-команда отримала доступ до всіх 30 000 точок даних через єдину базу з можливістю фільтрації. Інформацію, на пошук якої раніше витрачалися години, тепер можна знайти за лічені секунди за допомогою фільтрів або пошуку на основі штучного інтелекту. На практиці це дозволило скоротити витрати на пошук даних на 66%, оскільки команди отримали прямий доступ до всієї необхідної інформації.



Рис. 3. Систематизація та гармонізація даних про рецептури дозволили досягти відчутних результатів у сфері досліджень і розробок, зокрема до зменшення кількості ітерацій на 30%, скорочення зусиль на ведення документації на 50% та зменшення часу на пошук даних на 66%.

Компанія також повідомила про зменшення кількості ітерацій на 30%, оскільки розробники могли спиратися на результати попередніх досліджень, а не починати з нуля. Відповідні попередні підходи стало легше ідентифікувати, а зв'язки між параметрами та цільовими властивостями стали прозорими. Кількість повторних випробувань зменшилася, оскільки попередні експерименти стало легше знаходити та розуміти. Альтернативи можна було знаходити набагато швидше, коли заміна сировини або зміна вимог клієнта створювали потребу в нових варіантах.

Зусилля на ведення документації також скоротилися на 50% завдяки автоматизованому перенесенню даних і генерації звітів. Обговорення в команді стали більш предметними, оскільки інформацію можна було консолідувати та візуалізувати, а не відтворювати з окремих файлів.

Операційні показники відобразили ці зміни. Середній час до створення першої затвердженої рецептури скоротився з 10-14 днів до 4-6 днів. Повторне використання базових елементів рецептур зросло з менш ніж 10 відсотків до понад 50 відсотків. Час, необхідний для планування експериментів, значно зменшився. Проєктна документація перемістилася з розрізнених файлів до централізованої структури, а прозорість рішень суттєво зросла.

Структурована база даних також покращила обмін знаннями. Результати, взаємозв'язки та рішення більше не були так сильно прив'язані до окремих працівників або неформальної передачі справ. Тепер вони залишалися доступними навіть у разі зміни виконавців або звільнення досвідчених фахівців. Для R&D-команди, що стикається зі зміною поколінь, це більше, ніж просто підвищення ефективності. Це спосіб зберегти знання про рецептури як стратегічний актив.

Роль людини залишається центральною

Цифрові інструменти створюють цінність у R&D лише тоді, коли їх дійсно використовують люди, які приймають рішення. З цієї причини зручність використання є важливим фактором. Зрозумілий інтерфейс, інтуїтивна навігація та відсутність потреби у тривалому навчанні

полегшили впровадження програмного забезпечення в щоденну роботу команди. Оскільки необхідна інформація, контекст проєкту та функції ШІ були доступні в одному середовищі, розробники бачили цінність без зайвого ускладнення своїх рутинних процесів. Програмне забезпечення виявилося корисним для команди, адже воно допомагало легше застосовувати власний досвід. Воно сприяло пошуку інформації, порівнянню варіантів та підготовці рішень, але остаточне слово залишалося за фахівцями.

Як підсумував один із керівників проєкту: «Платформа працює не проти нас, а разом з нами. Вона думає разом з нами, але залишає рішення за нами».

Це має велике значення в розробці лакофарбових матеріалів. Цей процес залишається спеціалізованою дисципліною, що базується на хімії, досвіді застосування, поведінці матеріалів, вимогах клієнтів та практичних навичках. Цифрові інструменти найбільш цінні тоді, коли вони підвищують ефективність цієї експертизи. У цьому випадку програмне забезпечення об'єднало дані про рецептури, робочі процеси, ресурси та функції аналізу в одному середовищі, при цьому існуючі спеціалізовані системи та людське прийняття рішень залишилися в центрі уваги.

Після успішного впровадження платформа поширюється і на інші підприємства. Заплановано подальший розвиток, зокрема використання моделей машинного навчання для прогнозування властивостей рецептур і підтримки інтелектуального комбінування добавок.

Висновок: від розрізнених даних до знань, що можна використовувати повторно

Цей приклад показує, що головним викликом у багатьох лабораторіях з розробки покриттів є не нестача даних, а відсутність зручної структури для їх використання. Рецептури, результати тестувань, інформація про сировину, технологічні параметри та проєктні рішення стають цінними лише тоді, коли їх можна об'єднати, знайти, порівняти та зрозуміти в контексті.

Material Intelligence забезпечує таку структуру, об'єднуючи дані, робочі процеси та аналіз за допомогою ШІ в одному середовищі. В описаному прикладі це докорінно змінило щоденну роботу відділу досліджень і розробок: попередні результати стало легше використовувати повторно, зусилля на ведення документації зменшилися, пошук даних прискорився, а рішення щодо рецептур тепер можна було обговорювати на основі консолідованої інформації, а не розрізнених файлів.

Для виробників лакофарбових матеріалів це набуває дедалі більшого значення. Цикли розробки скорочуються, рецептури стають складнішими, а досвідчені спеціалісти залишають організації зі знаннями, які не завжди повністю задокументовані. Структурований підхід на базі Material Intelligence допомагає зберегти цей досвід, роблячи його доступним для поточних і майбутніх команд.

Довгострокова актуальність цього підходу виходить за межі простої ефективності. Коли знання про рецептури структуровані та контекстуалізовані, ШІ може допомагати не лише у пошуку. Він здатний виявляти закономірності, підтримувати прийняття рішень та з часом керувати плануванням експериментів через прогнозування й оптимізацію. У цьому сенсі шлях до розробки лакофарбових покриттів, готових до використання ШІ, починається не з алгоритму, а з перетворення наявних знань на доступні, надійні та придатні для повторного використання дані.

М. Егельхофер
LabV Intelligent Solutions GmbH
INTERNATIONAL PAINT&COATING MAGAZINE

Джерело: