



УДК 004.9:658.5:621.89

КОНЦЕПЦІЯ SMARTLUBE 4.0 В ОБСЛУГОВУВАННІ ОРГАНІЗАЦІЙ-СПОЖИВАЧІВ

Михайло Пашечко

Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна
ORCID: 0009-0009-9578-8905

Резюме. Розглянуто концепцію SmartLube 4.0 як інноваційну модель цифрової трансформації сервісного обслуговування, що поєднує технології Індустрії 4.0 з аналітичними інструментами управління технічним станом обладнання. Актуальність дослідження зумовлена зростанням потреби у створенні інтелектуальних систем технічного сервісу, здатних забезпечити раціональне використання мастильних матеріалів, мінімізувати втрати ресурсів і підвищити надійність виробничих систем. Метою дослідження є розроблення концептуально-прикладної концепції SmartLube 4.0, спрямованої на цифрову модернізацію мастильного обслуговування, інтеграцію процесів моніторингу, прогнозування й планування технічного сервісу, а також на формування нової бізнес-моделі партнерської взаємодії між постачальником і споживачем. Методологічну основу дослідження становлять системний і процесний підходи, методи порівняльного аналізу, моделювання й узагальнення, а також аналітичні методи оцінювання ефективності цифрових сервісних систем. Результати дослідження відображають розроблення теоретичного ядра та моделі обслуговування організацій-споживачів у межах концепції SmartLube 4.0. Визначено ключові елементи системи – сервісну аналітику, адаптивні інтервали обслуговування, підпискові моделі «as-a-service», цифрові інтерфейси взаємодії та механізми зворотного зв'язку. Запропонована модель узагальнює перехід від регламентного технічного сервісу до аналітично-керованої системи управління станом машин, у якій кожна операція з мастильними матеріалами розглядається як частина стратегічного циклу підвищення ефективності та надійності техніки. Практична цінність результатів полягає у можливості використання концепції SmartLube 4.0 як прикладної платформи цифрової трансформації сервісного обслуговування. Її впровадження дозволяє скоротити простій обладнання, підвищити точність прогнозування технічного стану, оптимізувати споживання ресурсів, знизити екологічне навантаження та забезпечити прозорість взаємодії між сервісними компаніями та клієнтами.

Ключові слова: інтелектуальне сервісне обслуговування, цифрова трансформація, аналітична екосистема, технічна надійність, сервісна аналітика, ESG-ефективність

Дата надходження 07.11.2025

Дата прийняття 22.12.2025

Дата публікації 27.02.2026

https://doi.org/10.33108/galicianvisnyk_tntu2026.01.108

UDC 004.9:658.5:621.89

SMARTLUBE 4.0 CONCEPT IN CONSUMER ORGANIZATION MAINTENANCE

Mykhailo Pashechko

Lviv Politechnic National University, Lviv, Ukraine

Summary. The article examines the SmartLube 4.0 concept as an innovative model of digital transformation in service maintenance, integrating Industry 4.0 technologies with analytical tools for managing the technical condition of equipment. The relevance of the study stems from the growing need to develop intelligent service systems capable of ensuring the rational use of lubricants, minimizing resource losses, and increasing the reliability of production systems. The aim of the research is to develop a conceptual and applied framework for SmartLube 4.0 focused on the digital modernization of lubrication services, the integration of monitoring, forecasting, and maintenance planning processes, as well as the formation of a new business model of partnership interaction between the supplier and the consumer. The methodological basis of the study includes systemic and process approaches, methods of comparative analysis, modelling and generalization, as well as analytical methods

for evaluating the effectiveness of digital service systems. The research results reflect the development of a theoretical core and a service model for consumer organizations within the SmartLube 4.0 concept. The article identifies the key elements of the system – service analytics, adaptive maintenance intervals, subscription-based «as-a-service» models, digital interaction interfaces, and feedback mechanisms. The proposed model generalizes the shift from regulatory-based technical service to an analytically driven system of machine condition management, in which every lubrication operation is viewed as part of a strategic cycle aimed at increasing efficiency and equipment reliability. The practical value of the results lies in the potential application of the SmartLube 4.0 concept as an applied platform for digital transformation of service maintenance. Its implementation enables the reduction of equipment downtime, improvement of technical condition forecasting accuracy, optimization of resource consumption, reduction of environmental impact, and enhancement of transparency in interactions between service providers and clients.

Key words: intelligent service maintenance, digital transformation, analytical ecosystem, technical reliability, service analytics, ESG efficiency.

Received 07.11.2025

Accepted 22.12.2025

Published 27.02.2026

https://doi.org/10.33108/galicianvisnyk_tntu2026.01.108

Постановка проблеми. Сучасні умови цифрової трансформації виробничих процесів зумовлюють потребу у створенні інтелектуальних сервісних систем, здатних забезпечити ефективне управління технічним станом машин, оптимізацію витрат і раціональне використання ресурсів [1]. Традиційні моделі мастильного обслуговування, що базуються на регламентному або реактивному підході, не відповідають викликам динамічного виробництва, де визначального значення набувають оперативність, прогнозованість і екологічна стійкість [2].

У цих умовах концепція SmartLube 4.0 репрезентує новий етап розвитку сервісного інжинірингу, орієнтований на інтеграцію технологій IoT, AI, Big Data, digital twins і хмарних рішень у єдину аналітично-керовану систему технічного обслуговування [3]. Вона відображає перехід від традиційного управління до data-driven maintenance, що ґрунтується на моніторингу фактичних показників і прогнозуванні стану обладнання в реальному часі. Її впровадження забезпечує підвищення ефективності, надійності та екологічності виробничих процесів, сприяє формуванню нової парадигми сервісного управління та підтверджує наукову й практичну актуальність дослідження проблеми цифровізації мастильного обслуговування в контексті Індустрії 4.0.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У сучасних умовах цифрової трансформації сервісна економіка переживає якісні зміни, що зумовлюють появу нових бізнес-моделей та технологічно орієнтованих підходів до обслуговування споживачів. Дослідження Н. Chin та співавторів показало, що цифровізація у сфері послуг проходить три послідовні етапи розвитку, де ключову роль відіграють аналітика даних і стратегічне управління змінами [4]. У контексті технічного сервісу J. Chen з колегами довели, що цифрові технології – IoT, Big Data та хмарні рішення – формують підґрунтя для створення інноваційних бізнес-моделей, здатних забезпечити сталу конкурентну перевагу виробничих підприємств [5]. На рівні управлінських стратегій M. Raiola зі співавторами обґрунтували роль знаннево-інтенсивних сервісів у процесі цифрової сервітизації, підкресливши важливість взаємодії між внутрішніми компетенціями підприємства та зовнішніми партнерами [6]. Концепцію цифрового технічного обслуговування доповнили В. Karčí з колегами, які описали функціональні блоки цифрової системи обслуговування на прикладі кейсу Metso Outotec, продемонструвавши ефекти економії ресурсів і підвищення надійності [7].

Подальший розвиток напрямів цифрового сервісу у сфері обслуговування машин і обладнання підтримали дослідження М. Kans та J. Campos, що акцентують перехід від Індустрії 4.0 до 5.0 через інтеграцію людсько-машинної взаємодії та розвиток цифрових

компетенцій [8]. У свою чергу, М. Kolagar з співавторами виділили послідовні фази зрілості цифрового сервісу для малих і середніх підприємств, які охоплюють цифрову обізнаність, інновації та масову кастомізацію [9]. Дослідження колективу науковців на чолі з А. Karatzas уточнили типологію бізнес-моделей цифрової сервітизації для малих виробничих компаній, підкресливши роль організаційних і середовищних чинників у їх становленні [10]. Водночас Z. Ma з колегами довели, що цифровізація виробничих процесів сприяє підвищенню енергоефективності та формуванню стійких міжсекторальних партнерств, а впровадження аналітичних інструментів і цифрових двійників забезпечує довготривалу цінність бізнес-моделі [11]. Отже, результати аналізу сучасних досліджень свідчать, що цифрова сервітизація поступово формує нову парадигму сервісного управління, в якій аналітика, автоматизація та партнерська взаємодія перетворюють обслуговування споживачів на стратегічний інструмент підвищення конкурентоспроможності та стійкості підприємств.

Попри суттєвий науковий прогрес у сфері цифрового моніторингу та моделювання трибологічних процесів, усе ще недостатньо опрацьованими залишаються питання комплексної інтеграції аналітичних, технічних і управлінських компонентів у єдину інтелектуальну систему сервісного обслуговування. Така система має забезпечувати не лише точне прогнозування стану мастильних матеріалів, а й можливість стратегічного управління їхнім життєвим циклом у режимі реального часу, перетворюючи технічне обслуговування на проактивний інструмент підвищення ефективності виробництва.

Метою дослідження є розроблення концептуально-прикладної концепції SmartLube 4.0, спрямованої на цифрову трансформацію системи мастильного обслуговування підприємств, підвищення ефективності використання ресурсів і формування інтегрованої сервісної екосистеми, побудованої на основі даних у реальному часі.

Постановка завдання. Для досягнення поставленої мети визначено такі завдання дослідження:

- 1) обґрунтувати теоретичні засади концепції SmartLube 4.0 та визначити її місце у структурі цифрового сервісного інжинірингу в контексті Індустрії 4.0;
- 2) сформулювати технологічну архітектуру концепції SmartLube 4.0, описавши ключові модулі – сенсорні системи, аналітичні платформи, цифрові близнюки та інтеграційні рішення, що забезпечують взаємодію між технічними, аналітичними й управлінськими компонентами;
- 3) розробити модель обслуговування організацій-споживачів у межах концепції SmartLube 4.0, визначивши її структурні елементи, цифрові інструменти реалізації, очікувані ефекти та практичну цінність для підприємств різних галузей.

Виклад основного матеріалу. Сучасна динаміка ринку засвідчує перехід цифровізації нафтогазового сектора від поодиноких пілотних ініціатив до масштабованих рішень, що формують нову архітектуру сервісного обслуговування. За аналітичними прогнозами Technavio, у 2025 р. зростання ринку цифрової трансформації нафтогазової промисловості на 12,7% рік до року, а в 2024–2029 рр. – середньорічний темп (CAGR) близько 14,5% із сукупним приростом 56,4 млрд дол. США [12]. Це свідчить про прискорення впровадження інтелектуальних технологій та аналітичних рішень у глобальному енергетичному секторі (рис. 1).

Зазначені показники підтверджують стабільне зростання ринку під впливом інвестицій у IoT, AI/ML, digital twins, VR/AR, Big Data та хмарні вирішення, які забезпечують передбачуваність, ефективність і сталість виробничих процесів. Корпоративні стратегії провідних компаній підсилюють цей тренд: Schlumberger запровадила платформу «Oilfield Data Hub» для інтеграції телеметрії в реальному часі,

Baker Hughes–Microsoft розвивають хмарну аналітику, Equinor інвестує понад 1,2 млрд дол. США у цифровізацію видобутку та переробки, тоді як Saudi Aramco розширює використання безпілотних систем для моніторингу об’єктів.

У структурі цифрової трансформації нафтогазового сектора домінують технології IoT та Big Data & Analytics, які забезпечують зв’язок між виробничими процесами, технічним сервісом і аналітикою. Їх частка перевищує дві третини ринку технологічних інновацій, що свідчить про зростання ролі інтелектуальних систем моніторингу та управління в підвищенні ефективності промислових операцій (рис. 2).

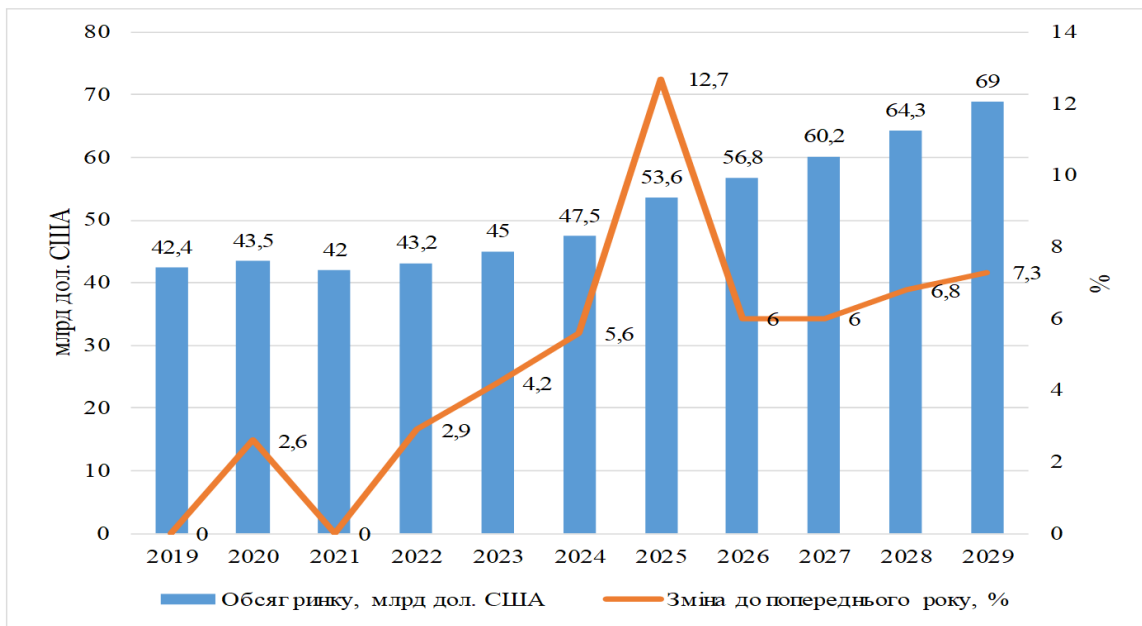


Рисунок 1. Динаміка розміру ринку цифрової трансформації в нафтогазовій промисловості у 2019–2029 рр. (2026–2026 рр. – прогноз)

Джерело: побудовано за [12].

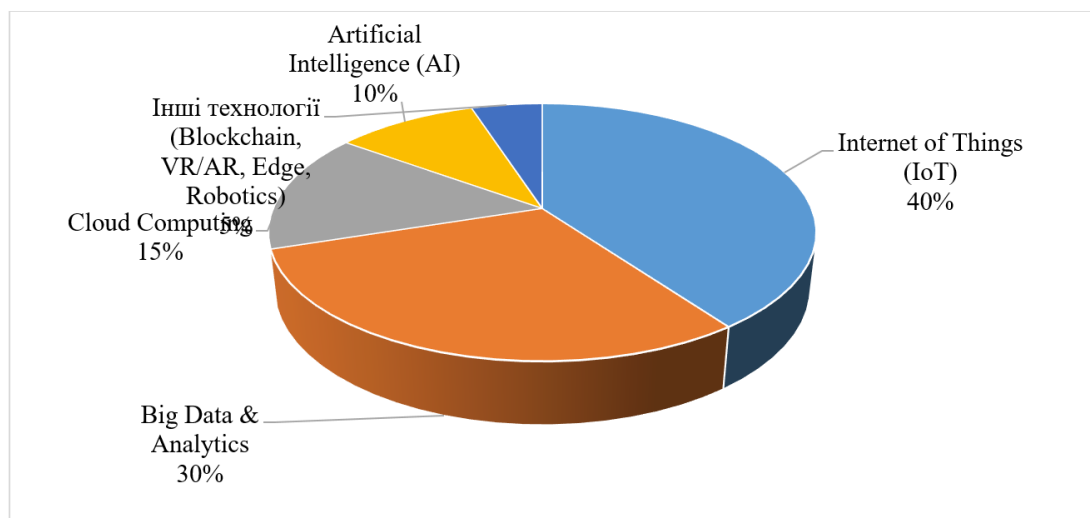


Рисунок 2. Структура цифрової трансформації у нафтогазовій промисловості за технологіями, %

Джерело: побудовано за [12].

Як бачимо з візуалізації, основне ядро цифрової трансформації формують технології IoT та Big Data, що забезпечують перехід до інтелектуальних систем прогнозного обслуговування. Їх поєднання створює умови для впровадження концепції SmartLube 4.0, у межах яких дані, алгоритми та віртуальне моделювання формують основу data-driven maintenance. Поступова інтеграція аналітичних інструментів, сенсорних систем і штучного інтелекту змінює парадигму обслуговування від реактивної до передбачуваної, створюючи підґрунтя для нових сервісних форматів та підвищення ефективності управління активами [3].

У контексті даного дослідження цифрова трансформація розглядається як цілісний процес стратегічної, технологічної та організаційної модернізації бізнес-процесів на основі цифрових технологій, який забезпечує підвищення ефективності, стійкості та адаптивності виробничих систем. На відміну від цифровізації, що передбачає автоматизацію окремих операцій, цифрова трансформація змінює логіку управління активами, модель створення цінності та механізми сервісної взаємодії. Стосовно нафтогазового сектора, цифрова трансформація охоплює інтеграцію IoT-сенсориків, платформ управління промисловими даними, алгоритмів передиктивної аналітики, цифрових двійників та хмарної інфраструктури для забезпечення автономного моніторингу, прогнозного технічного обслуговування та оптимізації життєвого циклу обладнання. Такий підхід спрямований на мінімізацію простоїв, підвищення надійності технологічних систем, зниження витрат і дотримання екологічно-орієнтованих стандартів (ESG).

SmartLube 4.0 ґрунтується на поєднанні цифрових технологій, аналітики даних та інтелектуальних систем керування, спрямованих на забезпечення безперервного, адаптивного та прогнозного мастильного обслуговування промислового обладнання. На відміну від традиційних систем, що функціонують за принципом регламентного або реактивного ремонту, ця модель реалізує підхід predictive maintenance, базований на моніторингу фактичного стану машин і прогнозуванні параметрів їх роботи в реальному часі [13].

Технологічна архітектура SmartLube 4.0 включає кілька взаємопов'язаних модулів, інтегрованих у єдину кіберфізичну систему обслуговування. Сенсорні вузли, розміщені у критичних точках тертя або вузлах обертання, здійснюють безперервний контроль температури, в'язкості, тиску та рівня забруднення мастильних матеріалів. Зібрані дані надходять до хмарної платформи або периферійного середовища (edge computing), де виконуються їх первинна обробка, фільтрація та валідація.

Наступним рівнем системи виступає модуль цифрових близнюків (digital twins), який відтворює віртуальну модель обладнання з урахуванням його технічних параметрів, умов експлуатації та історичних даних. Це дозволяє здійснювати симуляцію процесів зношення, прогнозувати наслідки різних сценаріїв експлуатації й визначати оптимальні інтервали технічного обслуговування.

Застосування алгоритмів машинного навчання (Machine Learning) забезпечує виявлення прихованих закономірностей деградації мастила, ранню ідентифікацію ризиків відмови системи змащування та автоматичне формування рекомендацій для технічного персоналу.

Важливою складовою є інтеграційний рівень SmartLube 4.0, який забезпечує з'єднання з корпоративними системами ERP, SCADA та CMMS, формуючи єдиний інформаційний простір між технічними, фінансовими й логістичними потоками. Така синхронізація перетворює мастильне обслуговування з допоміжного процесу на стратегічний інструмент управління життєвим циклом обладнання, що підвищує ефективність виробництва, оптимізує використання ресурсів і зміцнює екологічну та енергетичну стійкість підприємства.

Таким чином, SmartLube 4.0 формує нову парадигму сервісного обслуговування, у якій технічний стан, екологічна безпека та економічна доцільність функціонують як взаємопов'язані елементи єдиної цифрової екосистеми. На відміну від класичних підходів до технічного сервісу, вона забезпечує інтелектуалізацію мастильних процесів шляхом інтеграції сенсорних даних, алгоритмів машинного навчання та цифрових моделей обладнання. Її впровадження є не лише кроком цифрової модернізації промислових сервісів, а й механізмом інтеграції принципів Індустрії 4.0 у виробничу та експлуатаційну діяльність підприємств. У теоретичному вимірі концепцію SmartLube 4.0 можна визначити як інтелектуальну систему мастильного обслуговування, що забезпечує: цифровий моніторинг параметрів мастильних матеріалів і технічного стану машин у режимі реального часу; прогнозування деградаційних процесів на основі аналітики даних і алгоритмів машинного навчання; сервісну взаємодію між постачальником і споживачем через платформи спільного доступу до інформації, аналітичних звітів і планів технічного обслуговування.

Запропонована концепція охоплює кіберфізичну інтеграцію технічних, аналітичних і управлінських компонентів, створюючи адаптивну систему прийняття рішень, у якій кожна одиниця обладнання розглядається як «розумний об'єкт». Такий підхід забезпечує постійний зворотний зв'язок між експлуатаційними процесами, аналітикою та сервісом, що дозволяє мінімізувати втрати ресурсів, скоротити витрати на технічне обслуговування та забезпечити сталу взаємодію між усіма учасниками сервісного ланцюга – від виробника мастильних матеріалів до кінцевого користувача техніки [14]. Отже, теоретичне ядро концепції SmartLube 4.0 базується на синергії трьох ключових принципів:

1. Інтелектуальність – здатність системи самонавчатися, аналізувати дані та формувати прогностичні рішення.
2. Інтегрованість – поєднання сенсорної, аналітичної та управлінської підсистем у єдиному цифровому контурі.
3. Стійкість – орієнтація на раціональне використання ресурсів, продовження життєвого циклу обладнання та зниження екологічного навантаження.

Для конкретизації змісту зазначених принципів у межах функціонування системи розроблено матрицю взаємодії доменів концепції SmartLube 4.0, яка відображає взаємозв'язок технологічних засобів, аналітичних інструментів і управлінських рішень (табл. 1).

Таблиця 1. Матриця взаємодії SmartLube 4.0: технічні, аналітичні та управлінські домени

<i>Домен</i>	<i>Основні технології</i>	<i>Ключові функції</i>	<i>Сервісна цінність</i>
Технічний	IoT, сенсори, edge computing	Збирання параметрів мастила й стану машин	Прозорість і точність даних
Аналітичний	ML, AI, digital twins	Прогнозування, оптимізація графіків обслуговування	Зменшення простоїв, підвищення точності прогнозів
Управлінський	ERP, CMMS, SCM	Інтеграція обліку, планування й закупівель	Зниження витрат, зростання ефективності
Сервісний	Cloud, API, dashboards	Інтерактивна взаємодія з клієнтом	Персоналізація, довіра, сталий сервіс

Джерело: розроблено автором.

Таким чином, концепція SmartLube 4.0 – це не просто еволюція систем технічного обслуговування, а нова філософія сервісної підтримки, що базується на даних, алгоритмах і партнерських зв'язках. Її реалізація забезпечує перехід від реактивного до проактивного управління технічним станом машин, формуючи інтелектуальні сервісні екосистеми нового покоління, у яких кожен учасник отримує доступ до достовірної, аналітично опрацьованої інформації в режимі реального часу.

Для поглиблення розуміння концепції запропоновано модель обслуговування організацій-споживачів у межах концепції SmartLube 4.0, яка систематизує ключові елементи, цифрові інструменти реалізації та очікувані ефекти (табл. 2). Такий підхід дозволяє продемонструвати взаємозв'язок між технологічними рішеннями, аналітичними процедурами та управлінськими аспектами, що спільно формують цілісну екосистему інтелектуального сервісу.

Представлені у табл. 2 складові концепції SmartLube 4.0 має вагоме практичне значення, адже трансформує мастильне обслуговування з операційної функції у стратегічний інструмент підвищення ефективності виробничих систем. Її ключова цінність полягає у створенні нової архітектури сервісної взаємодії, де технічне обслуговування перетворюється на безперервний цикл управління, заснований на даних, прогнозах і цифрових моделях.

Таблиця 2. Складові єдиної аналітично-управлінської системи з використанням концепції SmartLube 4.0 для сервісної взаємодії компанії з організаціями-споживачами

<i>Елемент</i>	<i>Сутність / функціональне призначення</i>	<i>Цифрові інструменти реалізації</i>	<i>Приклади практичного застосування</i>	<i>Очікуваний ефект для споживача / постачальника</i>
<i>Сервісна аналітика</i>	Безперервний аналіз параметрів мастильних матеріалів, режимів роботи машин і результатів обслуговування для прийняття обґрунтованих рішень	Big Data, ВІ-платформи, ML-алгоритми, системи предиктивної аналітики	Моніторинг рівня забруднення мастила у трансмісіях, аналітика коефіцієнта тертя	Зниження аварійності, скорочення витрат на ремонт, підвищення прозорості сервісу
<i>Адаптивні інтервали обслуговування</i>	Визначення термінів заміни мастила на основі фактичних показників експлуатації, а не регламентних норм	Сенсорні IoT-системи, edge-computing, цифрові близнюки (digital twins)	Автоматичне переналаштування графіка ТО при зміні умов навантаження техніки	Підвищення надійності, економія ресурсів, зменшення екологічного навантаження
<i>Підписні моделі («as-a-service»)</i>	Перехід від продажу мастильних матеріалів до комплексного надання сервісу «змащування як послуга»	Хмарні CRM/ERP-платформи, smart-контракти, цифрові платіжні рішення	Контракти «Lube-as-a-Service» для автопарків або аграрних підприємств	Формування довготривалого партнерства, прогнозованість витрат, підвищення лояльності клієнтів
<i>Інтерфейси взаємодії з клієнтами</i>	Цифрові канали комунікації між постачальником і споживачем із доступом до даних, аналітики та планів ТО	Web-панелі, мобільні додатки, API-дашборди, чат-боти підтримки	Мобільний додаток із відстеженням стану мастила, push-нагадування про ТО	Персоналізація сервісу, підвищення зручності й оперативності взаємодії
<i>Зворотний зв'язок і навчання системи</i>	Формування циклу самонавчання системи на основі накопичених даних і зворотних відгуків клієнтів	AI-модулі, нейронні мережі, аналітика користувацьких відгуків	Автоматичне вдосконалення моделей прогнозування зносу після кожного циклу обслуговування	Підвищення точності прогнозів, зниження ймовірності помилок у діагностиці
<i>Екологічна та ресурсна ефективність</i>	Мінімізація витрат мастильних матеріалів і відходів, дотримання ESG-принципів	Еко-сенсори, модулі Life-Cycle Assessment (LCA), системи екологічного моніторингу	Контроль рівня відпрацьованого мастила, розрахунок вуглецевого сліду	Відповідність стандартам сталого розвитку, зміцнення корпоративної репутації

Джерело: розроблено автором.

Кожен елемент моделі – від сервісної аналітики до екологічної ефективності виступає ланкою єдиної аналітично-керованої системи, яка забезпечує одночасне досягнення технічної надійності, ресурсної економії та екологічної стійкості. В

результаті концепції SmartLube 4.0 стає основою інтелектуальної платформи сервісного менеджменту, що поєднує технологічні інновації, управлінську гнучкість і сталий розвиток підприємств.

Інтеграція технологій IoT, AI, Big Data та Cloud-рішень у межах SmartLube 4.0 забезпечує автоматизоване прогнозування технічного стану обладнання, гнучке планування обслуговування та оптимізацію витрат протягом усього життєвого циклу техніки. Завдяки цьому відбувається перехід від ізольованих сервісних операцій до інтелектуальної системи технічної підтримки, у якій рішення приймаються на основі фактичних експлуатаційних показників. Такий підхід не лише підвищує ефективність і надійність виробничих систем, а й відповідає стратегічним орієнтирам Індустрії 4.0 та принципам ESG-управління, де цифровізація поєднується з відповідальністю за екологічний та соціальний ефект.

У практичному вимірі реалізація концепції SmartLube 4.0 дозволяє:

- скоротити тривалість простоїв обладнання та частоту аварійних відмов;
- підвищити точність прогнозування технічного стану й планування обслуговування;
- оптимізувати споживання мастильних матеріалів і зменшити вуглецевий слід виробництва;
- забезпечити прозору комунікацію між сервісними компаніями та клієнтами, що підсилює довіру й довготривале партнерство.

Таким чином, практична цінність концепції SmartLube 4.0 полягає у переході від обслуговування як витратного процесу до обслуговування як джерела створення доданої вартості, коли кожна сервісна дія інтегрується в стратегічне управління ефективністю, надійністю й стійкістю виробничої системи. Її впровадження формує основу для розвитку сервісно-орієнтованої економіки (Service-Oriented Economy), у межах якої цифрові рішення, інтелектуальні технології та клієнтські платформи стають ключовими інструментами управління життєвим циклом техніки.

Висновки. Аналітичні дані про цифровізацію нафтогазового сектора підтвердили стійку тенденцію до зростання ринку технологій IoT, Big Data, Cloud Computing та AI, які формують ядро інтелектуальних сервісних систем нового покоління. Їх інтеграція забезпечує перехід до платформеної моделі управління активами, де моніторинг, діагностика й обслуговування здійснюються на основі даних у реальному часі. Саме на цьому фундаменті базується концепція SmartLube 4.0 – інноваційна екосистема мастильного обслуговування, яка відображає прикладну реалізацію принципів data-driven maintenance у промисловій практиці.

Проведене дослідження засвідчило, що концепція SmartLube 4.0 є новим етапом еволюції сервісного обслуговування в умовах цифрової трансформації промисловості. Вона інтегрує технологічні, аналітичні та управлінські компоненти в єдину інтелектуальну екосистему, у межах якої мастильне обслуговування переходить із допоміжної функції у стратегічний чинник підвищення ефективності виробництва.

Запропонований механізм обслуговування організацій-споживачів у межах концепції SmartLube 4.0 демонструє перехід від регламентного технічного сервісу до адаптивного управління станом обладнання, що здійснюється на основі даних у реальному часі. Використання сенсорних систем, цифрових близнюків, алгоритмів машинного навчання та хмарних платформ забезпечує інтеграцію процесів моніторингу, прогнозування й планування технічного обслуговування в єдиний аналітичний контур.

Практичне значення моделі полягає у забезпеченні: оптимізації витрат на технічне обслуговування та ремонт; зниження аварійності й продовження життєвого циклу техніки; раціонального використання мастильних матеріалів і скорочення екологічного навантаження; прозорості та довготривалості партнерських відносин між постачальником і споживачем.

Таким чином, концепції SmartLube 4.0 формує нову філософію сервісної підтримки, засновану на даних, алгоритмах та взаємній відповідальності учасників сервісного ланцюга. Її впровадження сприяє переходу від реактивного до проактивного технічного управління, розвитку data-driven maintenance, а також утвердженню принципів ESG та циркулярної економіки у промисловій практиці.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на кількісне оцінювання економічного ефекту від впровадження концепції SmartLube 4.0, а також на розроблення індикаторів моніторингу її впливу на фінансові, екологічні та клієнтські результати.

Conclusions. Analytical data on the digitalization of the oil and gas sector have confirmed a steady upward trend in the market for IoT, Big Data, Cloud Computing, and AI technologies, which form the core of next-generation intelligent service systems. Their integration enables a transition to a platform-based asset management model, where monitoring, diagnostics, and maintenance are performed based on real-time data. This foundation underlies the SmartLube 4.0 concept – an innovative lubrication service ecosystem that represents the practical implementation of data-driven maintenance principles in industrial practice.

The conducted research has shown that the SmartLube 4.0 concept marks a new stage in the evolution of service maintenance amid the digital transformation of the industry. It integrates technological, analytical, and managerial components into a single intelligent ecosystem, within which lubrication service shifts from a supporting function to a strategic factor in improving production efficiency.

The proposed service model for client organizations within SmartLube 4.0 demonstrates a transition from scheduled technical servicing to adaptive condition-based management, driven by real-time data. The use of sensor systems, digital twins, machine learning algorithms, and cloud platforms ensures the integration of monitoring, forecasting, and maintenance planning processes into a unified analytical framework.

The practical significance of the model lies in ensuring: optimization of maintenance and repair costs; reduction of failures and extension of equipment life cycle; rational use of lubricants and reduction of environmental impact; transparency and long-term partnerships between suppliers and consumers.

Thus, SmartLube 4.0 forms a new philosophy of service support based on data, algorithms, and shared responsibility among participants in the service chain. Its implementation facilitates the transition from reactive to proactive technical management, advances data-driven maintenance, and promotes the principles of ESG and the circular economy in industrial practice.

Further research should focus on the quantitative assessment of the economic effect of SmartLube 4.0 implementation, as well as on the development of indicators for monitoring its impact on financial, environmental, and customer outcomes.

Список використаних джерел

1. Introna V., Santolamazza A. Strategic maintenance planning in the digital era: a hybrid approach merging Reliability-Centered Maintenance with digitalization opportunities. *Operations Management Research*. 2024. Vol. 17. P. 1397–1420. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12063-024-00496-y>
2. Лега О. С. Вплив економічних трансформацій на сталий розвиток ринку автомобільного пального. *Академічні візії*. 2024. № 36. URL: <https://www.academy-vision.org/index.php/av/article/view/1422> (дата звернення: 07.10.2025).
3. Гавриков Д. Інноваційно-цифрові трансформації як шлях до сталого розвитку підприємств транспортного комплексу. *International Science Journal of Management, Economics & Finance. Економіка галузей господарства*. 2025. Т. 4. № 4. DOI: <https://doi.org/10.46299/j.isjmef.20250404.10>
4. Chin H., Marasini D. P., Lee D. Digital transformation trends in service industries. *Service Business*. 2023. Vol. 17. No. 1. P. 11–36. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11628-022-00516-6>
5. Chen J., Zhang R., Wu D. Equipment maintenance business model innovation for sustainable competitive advantage in the digitalization context: Connotation, types, and measuring. *Sustainability*. 2018. Vol. 10. No. 11. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10113970>

6. Paiola M., Grandinetti R., Kowalkowski C., Rapaccini M. Digital servitization strategies and business model innovation: The role of knowledge-intensive business services. *Journal of Engineering and Technology Management*. 2024. Vol. 74. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2024.101846>
7. Karki B. R., Basnet S., Xiang J., Montoya J., Porras J. Digital maintenance and the functional blocks for sustainable asset maintenance service – A case study. *Digital Business*. 2022. Vol. 2. No. 2. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.digbus.2022.100025>
8. Kans M., Campos J. Digital capabilities driving industry 4.0 and 5.0 transformation: Insights from an interview study in the maintenance domain. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*. 2024. Vol. 10. No. 4. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2024.100384>
9. Kolagar M., Reim W., Parida V., Sjödin D. Digital servitization strategies for SME internationalization: the interplay between digital service maturity and ecosystem involvement. *Journal of Service Management*. 2022. Vol. 33. No. 1. P. 143–162. DOI: <https://doi.org/10.1108/JOSM-11-2020-0428>
10. Karatzas A., Dousios D., Raja J. Z., Papadopoulos G. An exploration of digital servitization business models in manufacturing SMEs. *Journal of Small Business Management*. 2025. Advance online publication. DOI: <https://doi.org/10.1080/00472778.2024.2448966>
11. Ma Z., Jørgensen B. N., Levesque M., Amazouz M., Ma Z. G. Business models for digitalization enabled energy efficiency and flexibility in industry: A survey with nine case studies. *Energy Informatics. Lecture Notes in Computer Science*. 2023. Vol. 14467. Doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-48649-4_15.
12. Digital Transformation in Oil and Gas Industry Market Analysis, Size, and Forecast 2025–2029: APAC (China, India, Japan), North America (US and Canada), Middle East and Africa (UAE), Europe (Germany, Russia, UK), and South America (Brazil). URL: <https://www.technavio.com/report/digital-transformation-market-size-in-the-oil-and-gas-industry-analysis> (дата звернення: 07.10. 2025).
13. Лега О., Канцедал Н., Богаєнко О. Система управління паливно-мастильними матеріалами як інструмент зменшення ризиків у діяльності підприємства агробізнесу. *Підприємництво та інновації*. 2025. № 34. С. 28–36. Doi: <https://doi.org/10.32782/2415-3583/34>.
14. Minaya P. E., Avella L., Trespalacios J. A. Synthesizing three decades of digital servitization: a systematic literature review and conceptual framework proposal. *Service Business*. 2024. Vol. 18. P. 193–222. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11628-024-00559-x>

References

1. Introna V., Santolamazza A. (2024) Strategic maintenance planning in the digital era: a hybrid approach merging Reliability-Centered Maintenance with digitalization opportunities. *Operations Management Research* (electronic journal), vol. 17, pp. 1397–1420. Available at: <https://doi.org/10.1007/s12063-024-00496-y> (accessed: 07 October 2025). DOI: <https://doi.org/10.1007/s12063-024-00496-y>
2. Leha O. S. (2024) Vplyv ekonomichnykh transformatsii na stalyy rozvytok rynku avtomobilnoho palnoho [Impact of economic transformations on the sustainable development of the automotive fuel market]. *Akademichni vizii [Academic Visions]* (electronic journal), no. 36. Available at: <https://www.academy-vision.org/index.php/av/article/view/1422> (accessed: 07 October 2025).
3. Havrykov D. (2025) Innovatsiino-tsyfrovi transformatsii yak shliakh do staloho rozvytku pidpriemstv transportnoho kompleksu [Innovation-digital transformations as a path to sustainable development of transport enterprises]. *International Science Journal of Management, Economics & Finance. Ekonomika haluzei hospodarstva [Economics of Economic Sectors]* (electronic journal), vol. 4, no. 4. Available at: <https://doi.org/10.46299/j.isjmef.20250404.10> (accessed: 07 October 2025). DOI: <https://doi.org/10.46299/j.isjmef.20250404.10>
4. Chin H., Marasini D. P., Lee D. (2023) Digital transformation trends in service industries. *Service Business* (electronic journal), vol. 17, no. 1, pp. 11–36. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11628-022-00516-6>
5. Chen J., Zhang R., Wu D. (2018) Equipment maintenance business model innovation for sustainable competitive advantage in the digitalization context: Connotation, types, and measuring. *Sustainability* (electronic journal), vol. 10, no. 11. DOI: <https://doi.org/10.3390/su10113970>
6. Paiola M., Grandinetti R., Kowalkowski C., Rapaccini M. (2024) Digital servitization strategies and business model innovation: The role of knowledge-intensive business services. *Journal of Engineering and Technology Management* (electronic journal), vol. 74. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jengtecman.2024.101846>
7. Karki B. R., Basnet S., Xiang J., Montoya J., Porras J. (2022) Digital maintenance and the functional blocks for sustainable asset maintenance service – A case study. *Digital Business* (electronic journal), vol. 2, no. 2. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.digbus.2022.100025>
8. Kans M., Campos J. (2024) Digital capabilities driving Industry 4.0 and 5.0 transformation: Insights from an interview study in the maintenance domain. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity* (electronic journal), vol. 10, no. 4. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2024.100384>
9. Kolagar M., Reim W., Parida V., Sjödin D. (2022) Digital servitization strategies for SME internationalization: The interplay between digital service maturity and ecosystem involvement. *Journal of Service Management* (electronic journal), vol. 33, no. 1, pp. 143–162. DOI: <https://doi.org/10.1108/JOSM-11-2020-0428>

10. Karatzas A., Dousios D., Raja J. Z., Papadopoulos G. (2025) An exploration of digital servitization business models in manufacturing SMEs. *Journal of Small Business Management* (electronic journal), advance online publication. DOI: <https://doi.org/10.1080/00472778.2024.2448966>
11. Ma Z., Jørgensen B. N., Levesque M., Amazouz M., Ma Z. G. (2023) Business models for digitalization enabled energy efficiency and flexibility in industry: A survey with nine case studies. *Energy Informatics. Lecture Notes in Computer Science* (electronic journal), vol. 14467. Available at: https://doi.org/10.1007/978-3-031-48649-4_15 (accessed: 07 October 2025).
12. Technavio Report (2025) Digital Transformation In Oil And Gas Industry Market Analysis, Size, and Forecast 2025-2029: APAC (China, India, Japan), North America (US and Canada), Middle East and Africa (UAE), Europe (Germany, UK), and South America (Brazil). Available at: <https://www.technavio.com/report/digital-transformation-market-size-in-the-oil-and-gas-industry-analysis> (accessed: 07 October 2025).
13. Leha O., Kantsedal N., Bohaienko O. (2025) Systema upravlinnia palyvno-mastylnymy materialamy yak instrument zmenshennia ryzykiv u diialnosti pidpriemstva ahrobiznesu [Fuel and lubricants management system as a tool for reducing risks in agribusiness enterprises]. *Pidpriemnytstvo ta innovatsii [Entrepreneurship and Innovation]* (electronic journal), no. 34, pp. 28–36. Available at: <https://doi.org/10.32782/2415-3583/34> (accessed: 07 October 2025).
14. Minaya P. E., Avella L., Trespalacios J. A. (2024) Synthesizing three decades of digital servitization: a systematic literature review and conceptual framework proposal. *Service Business* (electronic journal), vol. 18, pp. 193–222. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11628-024-00559-x>