

DOI <https://doi.org/10.15276/ict.03.2026.47>

УДК 004.4

Аналіз затребуваності обладнання для послуг оренди

Хмель Ярослав Віталійович¹⁾

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1985-7528>; kingdomofsamp@gmail.com

Зіноватна Світлана Леонідівна¹⁾

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9190-6486>; zinovatnaya.svetlana@op.edu.ua. Scopus Author ID: 57219779480

¹⁾ Національний університет «Одеська політехніка», пр. Шевченка, 1. Одеса, 65044, Україна

АНОТАЦІЯ

У статті розглянуто особливості автоматизованого аналізу затребуваності обладнання для компаній, що надають послуги оренди. Обґрунтовано актуальність удосконалення управління запасами обладнання з метою зниження витрат на його придбання, зберігання, технічне обслуговування та ремонт. Проаналізовано основні проблеми діяльності компаній з оренди обладнання, зокрема простоювання активів, невідповідність асортименту попиту, складність обліку технічного стану та необхідність прогнозування майбутньої потреби. Запропоновано інформаційне представлення обладнання, що враховує його тип, кількість, характеристики, вартість оренди, фізичні одиниці, договори та витрати на обслуговування. На основі запропонованого інформаційного представлення сформовано набір показників для аналізу та прогнозування затребуваності обладнання, зокрема кількість замовлень, кількість днів оренди, коефіцієнт сезонності та коефіцієнт завантаження. Розроблено метод прогнозування затребуваності, який передбачає комплексне використання зазначених показників та моделі множинної лінійної регресії для визначення прогнозованого попиту. Для перевірки запропонованого методу сформовано експериментальну вибірку на основі трирічної історії даних про обладнання, замовлення, оренду, доступність, технічне обслуговування та ремонт. Проведено порівняння прогнозування з використанням методів Moving Average, Seasonal Naive та лінійної регресії із застосуванням метрики оцінювання похибки прогнозу. За результатами експерименту визначено можливість використання запропонованого підходу для кількісного прогнозування попиту та формування рекомендацій щодо збільшення, збереження або оптимізації кількості обладнання. Визначено функціональні можливості програмного забезпечення для обліку обладнання, керування договорами оренди, аналізу використання, формування звітності та рекомендацій щодо поповнення запасів. Запропонований підхід спрямований на підтримку прийняття рішень щодо закупівлі обладнання.

Ключові слова: затребуваність обладнання; прогнозування попиту; інформаційна модель; підтримка прийняття рішень; лінійна регресія; автоматизація аналізу даних; підтримка прийняття рішень; архітектура програмного забезпечення

Для цитування: Хмель Я. В., Зіноватна С. Л. «Аналіз затребуваності обладнання для послуг оренди». *Інформатика. Культура. Техніка*. 2026; Том 3 № 2 (4): 625–636. DOI: <https://doi.org/10.15276/ict.03.2026.47>

Вступ. Практично всі види діяльності потребують використання множини обладнання. Обладнання може бути від складних машин та інструментів під час проведення будівельних робіт до посуду для організації корпоративних заходів. Під час вибору обладнання, яке підходить для вирішення задач бізнесу, існують два варіанти: оренда або покупка. При тому для кожного варіанту властиві як переваги, так і недоліки. Оренда потребує менших первинних витрат. При тому покупка обладнання може виявитися більш дешевою в довгостроковому періоді, оскільки виключає постійну плату за оренду. Технічне обслуговування та ремонт виконує компанія з надання послуг оренди, у разі володіння такі витрати має нести власник. У разі оренди можна змінити тип обладнання, наприклад, на більш сучасний. У разі покупки з часом може відбутися таке, що доведеться використовувати застарілі моделі, через неможливість повторного вкладення значних коштів [1].

У [2] розглянуто можливість лізингу як розв'язання проблеми нестачі коштів для малих і середніх підприємств, які становлять значну частину всіх компаній у ЄС, оскільки на них припадає велика частка всього бізнесу. Лізинг дозволяє заощадити кошти від інвестицій та перенаправити їх на операційні витрати.

Тому оренда обладнання є популярною послугою. Така форма використання необхідного обладнання дозволяє отримувати доступ до необхідного інструменту або складових організації заходів, не потребуючи повної закупівлі.

Компанії, які надають послуги оренди, беруть на себе обов'язки з ремонту, збереження, пропонують великий вибір обладнання. Такі компанії можуть вирішити проблеми інших організацій, але мають власні проблеми, а саме складності у балансуванні операційних витрат та ефективності використання активів. Основними проблемами є простоювання обладнання, невірне керування запасами, складна логістика. Порушити діяльність та прибутковість компаній можуть різні проблеми: керування складними процесами прокату; високі та зростаючі витрати; конкуренція на ринку; складності у відслідковуванні доступності обладнання; розрахунок рентабельності інвестицій.

Таким чином, актуальною є задача розробки засобів для автоматизованого контролю діяльності компанії, яка надає послуги оренди обладнання, для більш ефективного використання коштів. Мета роботи полягає у розробці інструмента для управління обладнанням за рахунок автоматизованого аналізу попиту.

Аналіз літератури. Переваги та недоліки оренди та купівлі розглянуто в роботі [3] на прикладі будівельної техніки. Аналіз враховує множину факторів (початкові інвестиції, витрати на технічне обслуговування, орендні витрати, масштабованість проекту, ризик старіння та вплив на грошові потоки). Показано, що обидва варіанти мають свої переваги в залежності від конкретних обставин та цілей компанії. Облік додаткової множини факторів (вартість, частота використання, технічне обслуговування, доступність, вартість перепродажу, гнучкість, транспортування на об'єкти, кваліфікаційні вимоги до оператора, технології та фінансові міркування щодо довгострокових цілей) робить оренду техніки більш безпечним варіантом. В результаті запропоновано гібридну стратегію, що поєднує купівлю та оренду, що мінімізує ризики, пов'язані з обмеженими можливостями індивідуалізації, проблемами доступності та вищими витратами, при цьому посилюючи переваги обох підходів.

В [4] описаний підхід до надання функцій, а не товарів, за допомогою продуктово-сервісних систем з боку компанії Husqvarna. В роботі оцінено екологічні наслідки варіанту надання обладнання в оренду замість продажу. Аналізується життєвий цикл одиниці обладнання, який включає його обслуговування, транспортування, керування відходами, термін служби тощо. Вказано про вплив місця розташування точки, де клієнт може отримати одиницю обладнання в оренду.

Компанія, яка надає послуги оренди, є власником обладнання, що надається у прокат. Тому з її боку виконується покупка обладнання, що потребує врахування всіх переваг та недоліків щодо саме володіння. Володіння обладнанням, яке надається в прокат, має недоліки, які є протилежними щодо переваг з боку орендарів: необхідність вкладання значних коштів; необхідність мати великий асортимент обладнання, що пропонується для оренди; необхідність мати сучасне обладнання, що пропонується для оренди; виконання обов'язків з ремонту та обслуговування; наявність приміщень для зберігання обладнання; підтримка транспортних можливостей щодо доставки обладнання клієнтам.

Таким чином, компанія, яка надає послуги з оренди, має вирішити багато ключових питань.

Очевидно, щоб клієнт залишався з організацією в короткостроковому та довгостроковому періоді, має бути забезпечений високий рівень задоволеності клієнта. В [5] досліджено вплив між змінними якості обслуговування, прихильності, задоволеності клієнтів і втримання клієнтів та встановлено, що результати змінних прихильності й задоволеності клієнтів опосередковують вплив якості обслуговування на втримання клієнтів.

В питанні послуг з оренди компанія має мати асортимент обладнання, достатній в розрізі кількості та якості для забезпечення задоволеності клієнтів. Також важливе значення має вартість послуги та швидкість її надання. Компанія має знайти баланс між наявною множиною обладнання та обсягом замовлень на його оренду.

В [6] описані етапи керування потужностями в контексті бізнесу: прогнозування попиту, що «дозволяє скоротити недовикористання й перевикористання ресурсів»; оцінка виробничих потужностей, а саме «безперервна оцінка потенціалу й можливостей для

підвищення операційної ефективності й стійкості до ринкових коливань»; коректування потужностей, що дозволяє «знижити ризики й підвищити оперативність реагування на мінливі ринкові умови»; безперервний моніторинг продуктивності.

Із практичної точки зору, керування запасами повинне відповідати на три основних питання [6]: де, коли, скільки. Тобто потрібно вирішити питання, де зберігати обладнання, коли варто розміщати замовлення на поповнення асортименту обладнання, скільки одиниць потрібно замовити, щоб поповнити запаси.

В [7] розглянута задача оптимального розподілу запасів та орендної плати у компанії, що займається прокатом, з урахуванням випадкових втрат запасів через використання та показано, що коефіцієнти втрат, засновані на використанні, можуть немонотонно впливати на початкові запаси і значно збільшувати витрати фірми.

В [8] розглянуто проблему розміру парку обладнання компанії з оренди, що впливає на доступність обладнання і має безпосередній вплив на прибутковість. В запропоновану модель включені параметри часткового відкладання замовлень, відмов від виконання замовлення та обмежена пропускна спроможність, а також можливість поломки наявного парку обладнання. Запропоновано алгоритм рекурсії для вирішення базової двовимірної стохастичної моделі з одним гравцем для визначення глобального оптимального розміру парку обладнання компанії за однакових показників відмови від виконання замовлення та повернення обладнання.

В [9] досліджено загальні характеристики оренди та проведено аналіз впливу управління запасами з використанням сценарію дискретного моделювання подій у сфері оренди робочого одягу. Зроблений висновок, що компанії по прокату можуть аналізувати загальні та специфічні характеристики клієнтів, щоб далі надавати клієнтам корекцію зворотного зв'язку для більш ефективного управління місцевими запасами. Самі автори вказують на обмеження дослідження: використання емпіричних даних, які відносяться до одного бізнесу по прокату, не розглядаються додаткові параметри на основі реалістичного сценарію.

В [10] розглядається вплив штучного інтелекту (ШІ) і машинного навчання (МН) на прогнозування попиту, їхня здатність знижувати невизначеність, щоб оптимізувати керування запасами й, відповідно, підвищити якість прийнятих рішень, за рахунок того, що «моделі прогнозування на основі ШІ використовують історичні дані, інформацію про ринок у режимі реального часу й зовнішні фактори для генерації більше надійних прогнозів»:

Використання моделей ШІ та МН підвищує точність прогнозування попиту в керуванні ланцюжками поставок, прогнозування попиту допомагає підтримувати оптимальний рівень запасів, прогножуючи коливання споживчого попиту, сприяє підвищенню стійкості ланцюжків поставок, прогностична аналітика відіграє важливу роль у зниженні витрат, забезпечуючи значну економію на закупівлях, логістиці й складуванні.

Незважаючи на свої переваги, аналітика на основі ШІ має проблеми. Якість і доступність даних залишаються критично важливими питаннями, оскільки неточні або неповні дані можуть поставити під загрозу точність прогнозів [10].

Таким чином, для організації, що надає обладнання в оренду, можна виділити множину проблем. Ці проблеми зв'язані з наступними обставинами: обробка великих обсягів даних; облік обладнання; контроль договорів; взаємодія із клієнтами.

Сучасні методи аналізу даних. Попит на оренду посилив конкуренцію та вплинув на доходи від оренди. Компанії, що використовують цифрові технології, можуть мати конкурентні переваги за рахунок поліпшеного рівня обслуговування, більшої персоналізації й більш швидкої доставки. Зокрема, цифрові технології «дозволяють здійснювати прогнозування попиту й адаптивне проектування ланцюжка поставок», що важливо в умовах нестабільного ринку [11].

В [12] проаналізовано інформацію про доходи від оренди, витрати на технічне обслуговування й ціни продажу різних типів орендованого обладнання для оцінки ключових взаємозв'язків, щоб реалізувати модель динамічного програмування оптимального часу заміни орендованого обладнання.

В [13] описано кількісні і якісні методи аналізу. Кількісне дослідження пояснює явище шляхом збору числових даних, які аналізуються з використанням математичних методів (статистики). Наприклад, щоб знайти недостатньо використовуване обладнання, застосовується простий аналіз із використанням середнього значення й стандартного відхилення. У випадку якісного дослідження використовуються напівструктуровані інтерв'ю. Кількісний підхід дозволяє одержати щомісячний ряд даних про тенденції доступності й використання обладнання. Якісний підхід потребує використання розшифрування інтерв'ю й пошук закономірностей у відповідях.

В аналізі великих масивів даних, виявленні закономірностей і генерації точних прогнозів попиту велику роль грають ІІІ і МН. Традиційні статистичні методи, такі як середні й регресійні моделі, часто не працюють в умовах нестабільної ринкової кон'юнктури й раптових змін попиту. Компанії, що використовують прогнозування на основі МН, відзначають скорочення випадків дефіциту й надлишку товарів, що приводить до зниження витрат на зберігання й підвищенню задоволеності клієнтів [10].

Прогностична аналітика відноситься до того, у якому ступені організації використовують складні статистичні методи, моделі машинного навчання й методи інтелектуального аналізу даних для аналізу як даних у реальному часі, так і історичних даних, тим самим прогнозуючи майбутні тенденції й приймаючи обґрунтовані рішення [11].

В [14] також розглядається перетворююча роль прогнозної аналітики в побудові стійких ланцюжків поставок в умовах зростаючих глобальних потрясінь. Організації можуть передбачати збої, використовуючи алгоритми МН, системи збору даних на базі ІоТ і передові обчислювальні платформи.

Однак вказано, що можливість впровадження прогнозної аналітики істотно розрізняється залежно від масштабу бізнесу.

Великі підприємства одержують вигоду від ефекту масштабу в інфраструктурі збору даних і спеціалізованих кадрах, можуть здійснювати комплексні впровадження з позитивною окупністю інвестицій.

Середні організації, як правило, впроваджують цільові рішення для конкретних процесів, але мають проблеми з досягненням загальносистемних можливостей прогнозування.

Малі підприємства зіштовхуються із значними бар'єрами для входу на ринок складних систем, хоча хмарні сервіси починають пропонувати доступні альтернативи.

Інформаційна модель автоматизованих процесів керування діяльністю компанії, яка надає послуги оренди обладнання. Для оренди можуть надаватися різні типи обладнання, при тому кожен загальний тип може бути представлений у вигляді множини фізичних одиниць. Кожна фізична одиниця може потребувати ідентифікації (наприклад, коштовне та складне обладнання, інструмент), або достатньою характеристикою є кількість фізичних одиниць (посуд для корпоративних заходів). Кожна характеристика може бути представлена як тип характеристики та її значення. Вартість оренди може змінюватися з часом, тому має характеризуватися прив'язкою до часового періоду. Поточний стан визначається для фізичної одиниці (ремонт, в оренді тощо) або для деякої кількості фізичних одиниць без персональної ідентифікації. Витрати на обслуговування та ремонт характерні для більш коштовного та складного обладнання. Мають бути враховані всі витрати для визначення прибутку щодо обладнання, кількість ремонтів для визначення часу списання та закупівлі нового обладнання, планове обслуговування.

В цілому обладнання може бути представлено наступним чином: $eq = \langle tpe, STQ, RENTPR, CHRS, UN, CTRC \rangle$, де tpe – тип обладнання; STQ – статистична кількість обладнання з урахуванням стану фізичних одиниць; $RENTPR$ – вартість оренди; $CHRS$ – множина характеристик; UN – множина фізичних одиниць; $CTRC$ – множина договорів на оренду.

Кожен елемент множини STQ має складну структуру та виглядає наступним чином: $stq = \langle q, sts \rangle$, де q – кількість одиниць обладнання; sts – поточний статус.

Вартість оренди може змінюватися з часом, тому представляється у вигляді наступної множини. Кожен елемент множини $RENTPR$ має складну структуру та виглядає наступним чином: $rentpr = \langle pr, stdate \rangle$, де pr – ціна періоду; $stdate$ – дата початку періоду.

Поточна ціна визначається за формулою:

$$curpr = pr | stdate = \max_i(stdate), i = 1..|RENTPR|.$$

Характеристики обладнання розглядаються як кортеж $CHRS = \langle tpch, vch \rangle$, де $tpch$ – тип характеристики; vch – значення характеристики.

Кожен елемент множини UN має складну структуру та виглядає наступним чином: $un = \langle tf, id|q, sts, indate, outdate, inpr, RP \rangle$, де tf – тип обладнання з погляду на ідентифікацію фізичних одиниць

$$tf = \begin{cases} 1, & \text{якщо потребує ідентифікації;} \\ 0 & \text{в протилежному випадку} \end{cases};$$

$id|q$ – ідентифікатор фізичної одиниці, якщо $tf=1$, або кількість фізичних одиниць, якщо $tf=0$; sts – поточний статус; $indate$ – дата закупівлі; $outdate$ – дата списання; $inpr$ – вартість закупівлі; RP – множина виконаних ремонтів (технічного обслуговування).

Кожен елемент множини RP має складну структуру та виглядає наступним чином: $RP = \langle trp, stdate, fdate, prrp, dscr \rangle$, де trp – тип витрат (ремонт або технічне обслуговування); $stdate$ – дата початку; $fdate$ – дата завершення; $prrp$ – сума витрат; $dscr$ – опис.

Кожен елемент множини $CTRC$ має складну структуру та виглядає наступним чином: $ctrc = \langle cl, datec, stdatec, fdatec, CEQ, trnspr \rangle$, де cl – клієнт; $datec$ – дата заключення договору; $stdatec$ – дата початку дії договору; $fdatec$ – дата завершення дії договору; CEQ – множина обладнання, яка входить у договір; $trnspr$ – витрати на транспортування.

Кожен елемент множини CEQ має складну структуру та виглядає наступним чином: $ceq = \langle tpe, id|q, prc, spcond \rangle$, де prc – вартість оренди; $spcond$ – особливі умови.

На Рис. 1 наведена графічна візуалізація життєвого циклу обладнання з точки зору його прибутковості.

Життєвий цикл обладнання починається із закупівлі, яка характеризується вартістю закупівлі $stpr$ та датою закупівлі $stdate$.

Життєвий цикл можна розбити на послідовність періодів простою та оренди. Кожен період характеризується тривалістю та вартістю. Період простою характеризується тривалістю dt_i та вартістю обслуговування обладнання під час простою $dpr_i = dspr_i + drpr_i$, де $dspr_i$ – вартість зберігання обладнання; $drpr_i$ – вартість ремонту та обслуговування обладнання.

Період оренди характеризується тривалістю dr_i , фактичною вартістю $prrf_i = prr_i - trnspr_i - prr_i$, де prr_i – вартість оренди за договором; $trnspr_i$ – вартість транспортування; prr_i – вартість пошкодження під час оренди.

Таким чином, прибуток від використання обладнання різних видів j можна визначити за формулою: $prf = \sum_{j=1}^m prf_j$, де $prf_j = \sum_{i=1}^{n_j} prrf_{ij} - \sum_{i=0}^{n_j} dpr_{ij} - stpr_j$.

Очевидно, що мета роботи організації, яка надає обладнання в оренду, визначається умовою збільшення prf , для чого потрібно (1) збільшити перший компонент і (2) зменшити другий компонент.

За рахунок розробки програмного забезпечення можна отримувати актуальні статистичні дані, які дозволять виконати умови (1) та (2), а також відслідковувати своєчасність списання та закупівлі обладнання для підвищення прибутку.

Для збереження вхідних даних та можливості подальших розрахунків розроблено відповідну структуру бази даних (Рис. 2).

<stpr, stdate>

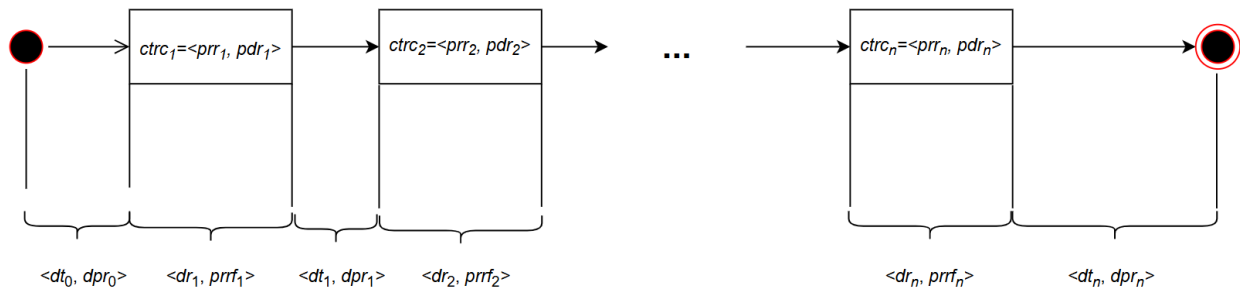


Рис. 1. Життєвий цикл обладнання

Джерело: розроблено авторами

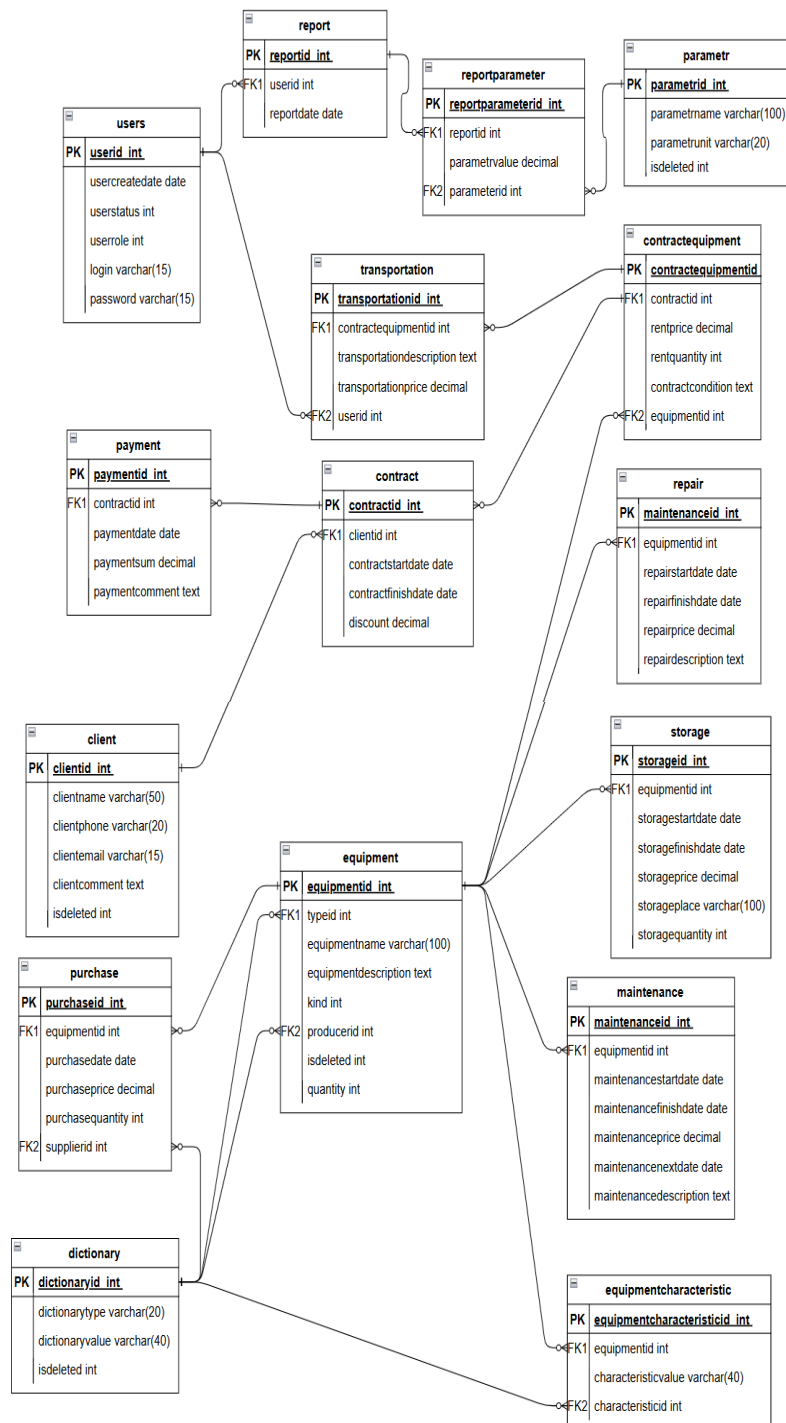


Рис. 2. Реляційна модель даних

Джерело: розроблено авторами

Множина показників затребуваності для прогнозування оренди обладнання. Для прогнозування затребуваності i -го виду обладнання використовується показник, який відповідає кількості днів оренди за прогнозований період та розраховується на основі існуючих замовлень за формулою:

$$P_i = \frac{\sum_{k=1}^{no} d_{ik}}{TP} \times k_{si},$$

де d_{ik} – тривалість k -го замовлення i -го обладнання в днях; no – кількість існуючих замовлень для i -го обладнання; TP – тривалість аналізованого періоду в днях; k_{si} – коефіцієнт сезонності i -го обладнання, за замовчуванням $k_{si} = 1$.

Для прогнозування затребуваності i -го виду обладнання також використовується показник, який відповідає кількості замовлень за прогнозований період та розраховується на основі існуючих замовлень за формулою:

$$Q_i = \frac{\sum_{j=1}^{nt} q_{ij}}{TP} \times k_{si},$$

де q_{ij} – кількість замовлень i -го виду обладнання у періоді j ; nt – кількість попередніх періодів, які використовуються для розрахунку.

Коефіцієнт сезонності можна розрахувати з використанням даних про замовлення за попередні періоди (щомісячно за кілька років). Коефіцієнт сезонності розраховується як відношення середньої кількості замовлень у конкретному періоді до середньої кількості замовлень за всі періоди спостереження:

$$k_s = \frac{\overline{Q_m}}{Q},$$

де Q_m – середня кількість замовлень у даному періоді за всі роки спостережень; Q – середня кількість замовлень за один період по всьому часовому ряду.

Значення коефіцієнта сезонності інтерпретується наступним чином:

$k_s > 1$ – попит вищий за середній, сезон вважається високим;

$k_s = 1$ – попит відповідає середньому значенню;

$k_s < 1$ – попит нижчий за середній, сезон вважається низьким.

Також важливим показником є коефіцієнт завантаження i -го виду обладнання, який розраховується за формулою:

$$U_i = \frac{\sum_{k=1}^{no} d_{ik}}{N_i \times TP} \times k_s$$

де N_i – кількість одиниць обладнання даного типу в наявності.

Оцінка коефіцієнту завантаження інтерпретується наступним чином. Якщо значення U_i перевищує 80-90 %, рекомендується збільшити кількість обладнання цього типу. Якщо U_i має низьке значення, обладнання має недостатню потребу.

Таким чином, використання коефіцієнта завантаження є допомогою під час прийняття рішень щодо поповнення або оптимізації парку обладнання компанії з надання послуг з оренди.

Автоматизований аналіз затребуваності обладнання має декілька етапів.

1. Отримання даних про обладнання та замовлення з бази даних: відомості про тип обладнання, кількість доступних одиниць, дати початку та завершення оренди, статус обладнання та історія використання.

2. Підготовка даних. Виявляються неповні дані, перевіряється відповідність дат, враховуються періоди, протягом яких обладнання було недоступним для оренди з якоїсь причини.

3. Розрахунок показників затребуваності для кожного виду обладнання: кількість замовлень, загальна тривалість оренди, коефіцієнт сезонності та коефіцієнт завантаження,

показники можуть розраховуватися окремо для різних часових періодів для виявлення сезонних змін у попиті.

4. Відображення результатів аналізу користувачеві: у вигляді таблиць, графіків та аналітичних звітів.

5. Формування рекомендацій щодо збільшення, збереження або оптимізації кількості обладнання на основі отриманих значень показників затребуваності.

Слід відзначити, що використання окремих показників не дозволяє отримати повну характеристику попиту. Тому має бути виконана комплексна оцінка. Це дозволяє розглядати затребуваність обладнання не лише з точки зору частоти його замовлення, а й з урахуванням тривалості використання та наявних ресурсів. Під час формування рекомендацій щодо закупівлі необхідно також враховувати технічний стан обладнання, його вартість, можливість ремонту, термін експлуатації та наявність аналогічних одиниць у запасі.

Метод прогнозування затребуваності обладнання. Таким чином, пропонується метод прогнозування затребуваності обладнання, який ґрунтується на комплексному аналізі історії оренди для кожного виду обладнання. На основі результатів формується рекомендація щодо збільшення, збереження або оптимізації кількості обладнання.

Метод включає наступні етапи:

- збір історичних даних;
- визначення показників;
- навчання моделі з використанням лінійної регресії;
- прогноз;
- рекомендація.

Проектування програмного забезпечення. Проблеми компаній, які надають послуги оренди обладнання, можна вирішити за рахунок розробки й впровадження програмного забезпечення, яке забезпечує наступне:

- облік наявного обладнання (створення єдиної бази даних обладнання);
- виключення помилок при роботі з договорами оренди (зберігання історії оренди, контроль строків закінчення оренди, повідомлення про необхідність повернення або продовження договору);
- контроль повернення обладнання (автоматичне відстеження дат повернення, повідомлення співробітників і клієнтів, розрахунок кількості днів прострочення, автоматичне нарахування штрафів відповідно до умов договору);
- облік технічного стану обладнання (ведення й зберігання історії ремонтів, відстеження необхідності планового технічного обслуговування, запис про несправності, виведення несправного обладнання з можливого для оренди);
- планування завантаження обладнання (ведення календаря бронювань, аналіз використання обладнання, прогнозування потреби для різних видів обладнання, пошук найбільш затребуваних і найменш затребуваних видів обладнання);
- ведення єдиної клієнтської бази (історія всіх договорів, історія платежів, актуальна контактна інформація клієнтів);
- підготовка аналітичної звітності (статистика оренди, аналіз прибутковості, звіти по завантаженості встаткування);
- рекомендації поповнення запасів обладнання (аналіз завантаженості обладнання, аналіз стану обладнання, аналіз попиту).

На Рис. 2 представлено архітектуру програми аналізу затребуваності обладнання для оренди. Для програмної системи аналізу затребуваності обладнання для оренди вибрано шаблон MVC, оскільки в такому випадку забезпечується наступні характеристики програмного забезпечення: поділ інтерфейсу користувача, бізнес-логіки та рівня зберігання даних, що спрощує супровід та розвиток системи; централізоване зберігання даних; можливість безпечної, розрахованої на багато користувачів роботи через вебінтерфейс;

незалежна зміна окремих компонентів без істотного впливу на інші частини системи; оптимальне співвідношення вартості розробки, продуктивності та масштабованості [15].

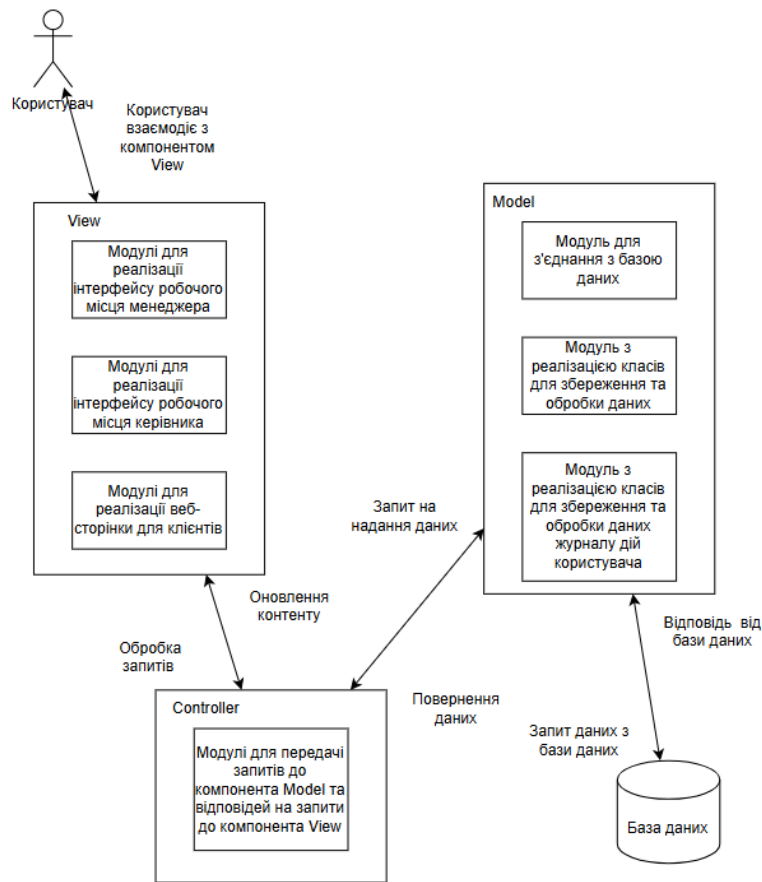


Рис. 2. Архітектура програмної системи

Джерело: розроблено авторами

Експериментальна частина. Для проведення експерименту підготовлено та внесено в базу даних інформація про обладнання, його обслуговування та замовлення оренди, з розподілом часу на три роки r_1 , r_2 , r_3 . За допомогою запитів до бази даних отримана інформація, яка містить такі показники для кожного виду обладнання: тип обладнання, місяць/рік, вартість наявного обладнання (x_1), кількість замовлень (x_2), кількість днів оренди (x_3), доступна кількість (x_4), вартість ремонту та технічного обслуговування (x_5), коефіцієнт завантаження (x_6), сезонний коефіцієнт (x_7), дохід від оренди (y_1), орендована кількість (y_2).

Прогнозування значень y_1 та y_2 проведено з використанням Moving Average, Seasonal Naive та лінійної регресії.

За методом Moving Average

$$y_t = \frac{1}{k} \sum_{i=0}^{k-1} y_{t-i} .$$

За методом Seasonal Naive

$$y_t = y_t - 12.$$

За методом лінійної регресії

$$y_{t+1} = \beta_0 + \sum_i^n (\beta_i \cdot x_{it}) .$$

Дані за r_1 та r_2 розглядаються як навчальна вибірка, дані за r_3 використовуються на тестування, а саме для визначення множини коефіцієнтів β_i .

Для порівняння отриманих прогнозів різними методами використана метрика

$$MCE = \frac{1}{m} \sum_{t=1}^m |y_{tf} - y_{tp}|,$$

де y_{tf} – фактичне значення; y_{tp} – прогнозоване значення.

Слід відзначити, що конкретні значення залежать від множини вхідних даних, однак отримані результати свідчать про те, що прогнозування кількості обладнання для оренди з використанням комплексної оцінки є більш точним щодо обраних методів

$$MCE_{CA} = \min(MCE_{CA}, MCE_{MA}, MCE_{SN}),$$

де MCE_{CA} – значення метрики для запропонованого методу, MCE_{MA} – значення метрики для методу Moving Average, MCE_{SN} – значення метрики для методу Seasonal Naive.

Запропонований підхід до автоматизованого аналізу затребуваності обладнання має певні обмеження. Насамперед достовірність результатів залежить від повноти та якості даних про замовлення, доступність обладнання, технічний стан та історію використання. За відсутності достатнього обсягу історичних даних розрахунок сезонних коефіцієнтів і прогнозування майбутнього попиту можуть мати обмежену точність.

Висновки. В роботі виконаний аналіз переваг та недоліків оренди обладнання порівняно з його придбанням, а також особливості діяльності компаній, які надають обладнання в прокат. Важливим завданням для таких компаній є забезпечення балансу між кількістю наявного обладнання та фактичним попитом на послуги оренди. Надмірна кількість обладнання може призводити до збільшення витрат на зберігання й обслуговування, тоді як недостатня кількість може обмежувати можливості виконання замовлень. У зв'язку з цим автоматизований аналіз затребуваності обладнання є одним із напрямів удосконалення управління запасами.

Надане інформаційне представлення життєвого циклу обладнання дозволяє формувати аналітичні звіти та визначати основні показники діяльності компанії. Запропонована модель враховує тип обладнання, статистичну кількість фізичних одиниць з урахуванням їх поточного стану, характеристики, вартість оренди, договори, а також дані про закупівлю, списання, ремонт і технічне обслуговування. Враховано можливість представлення обладнання як окремими фізичними одиницями, так і кількістю одиниць без персональної ідентифікації.

Визначено, що використання історичних даних про замовлення та завантаження обладнання може бути основою для підвищення обґрунтованості управлінських рішень. При цьому точність прогнозування залежить від якості, повноти та доступності даних, що необхідно враховувати під час розробки програмної системи.

Таким чином, удосконалено метод прогнозування затребуваності обладнання для компаній з оренди, який передбачає формування комплексної оцінки на основі історії замовлень і тривалості оренди, з урахуванням сезонності та фактичної доступності парку обладнання, включаючи урахування технічного стану, ремонтів, строку експлуатації, що дозволяє перетворити прогноз попиту у рекомендацію щодо зміни кількості одиниць обладнання.

Конфлікт інтересів: Автори декларують, що не мають конфлікту інтересів, зокрема фінансового, особистого, авторського чи будь-якого іншого характеру, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, опубліковані в цій статті

Фінансування: Дослідження проводилося без фінансової підтримки

Доступність даних: Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті рукопису

Використання засобів штучного інтелекту: Під час підготовки рукопису використовувався інструмент GPT-5.6 Липаштучного інтелекту (ШІ) для перевірки структури статті, Claude Sonnet 5 для граматичної та стилістичної перевірки тексту. Усі фрагменти, опрацьовані за його допомогою, були перевірені й відредаговані автором. ШІ не використовувався

для генерації тексту, формул і таблиць, формування наукових положень, отримання результатів або формулювання висновків. Наукові положення, результати та висновки є власним інтелектуальним внеском авторів

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Bajwa, R. “Buying vs. leasing equipment: Which one is better?”. *Entrepreneur & Innovation Exchange*. 2021. DOI: <https://doi.org/10.32617/640-60929f94d27c1>.
2. Bogdan, M. “Factoring and leasing, solutions for cashflow’s problems”. *Review of Management and Economic Engineering*. 2022; 21: 261-267. DOI: <https://doi.org/10.71235/rmee.71>.
3. Padmanaban, G. & Anjani, P. K. “Analysis of renting versus buying construction heavy equipment”. *SSRN Electronic Journal*. 2025. DOI: <https://doi.org/10.2139/ssrn.5088893>.
4. Martin, M., Heiska, M., Björklund, A. “Environmental assessment of a product-service system for renting electric-powered tools”. *Journal of Cleaner Production*. 2021; 281: 125245, <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7201477260>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125245>.
5. Parawansa, D. “Effect of commitment and customers’ satisfaction on relationship between service quality to the customer retention in rural bank in Makassar, Indonesia”. *Journal of Management Development*. 2018; 37. DOI: <https://doi.org/10.1108/JMD-12-2016-0303>.
6. Petropoulos, F., Akkermans, H., Aksin, O. Z., et al. “Operations & supply chain management: principles and practice”. *International Journal of Production Research*. 2026; 64 (1): 330–513. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2025.2555531>.
7. Li, Z., Xiao, Y. & Yuan, Q. “Dynamic rental allocation with condition-based usage loss”. *Naval Research Logistics*. 2026. DOI: <https://doi.org/10.1002/nav.70058>.
8. Firouz, M., Li, L. & Keskin, B. “Managing equipment rentals: Unreliable fleet, impatient customers, and finite commitment capacity”. *Production and Operations Management*. 2022; 31: 3963-3981. DOI: <https://doi.org/10.1111/poms.13796>.
9. Kumar, V., Ekwall, D. & Zhang, D. S. “Investigation of rental business model for collaborative consumption - workwear garment renting in business-to-business scenario”. *Resources, Conservation and Recycling*. 2022; 182: 106314. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106314>.
10. Kagalwala, H., Radhakrishnan, G. V., Mohammed, I. A., Kothinti, R. R., Kulkarni, N. “Predictive analytics in supply chain management: The role of AI and machine learning in demand forecasting”. *Advances in Consumer Research*. 2025; 2 (1): 142–149.
11. Abdelfattah, F., Madi, H., Al-Washahi, M., AlAraimi, A., Nagi, S., Abbas, M. “Harnessing artificial intelligence, business intelligence, and digital technologies for achieving supply chain excellence in Oman: Investigating the mediating role of predictive analytics”. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*. 2025; 11 (4): 100644, <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=59299630500>. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.joitmc.2025.100644>.
12. McClelland, J., Rust, J. “Strategic timing of investment over the business cycle: Machine replacement in the US rental industry”. *Journal of Economics and Statistics*. 2018; 238 (3-4): 295–351, <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57189521648>. DOI: <https://doi.org/10.1515/jbnst-2018-0023>.
13. Firdaus, F., Mulyono, N. B. “PSS application on business process improvement of equipment pool system in mining company”. *European Journal of Business and Management Research*. 2024; 9 (5): 135–150. DOI: <https://doi.org/10.24018/ejbmr.2024.9.5.2251>.
14. Kommula, H. M. “The role of predictive analytics in enhancing supply chain resilience”. *World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences*. 2025; 15 (1): 1762–1769. DOI: <https://doi.org/10.30574/wjaets.2025.15.1.0392>.
15. Necula, S. “Exploring the Model-View-Controller (MVC) architecture: A broad analysis of market and technological applications”. *Preprints*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.20944/preprints202404.1860.v1>.

Received 28.08.2026

Received after revision 23.09.2026

Accepted 09.10.2026

DOI <https://doi.org/10.15276/ict.03.2026.47>

UDC 004.4

Analysis of equipment demand for rental services

Yaroslav V. Khmel¹⁾

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1985-7528>; kingdomofsamp@gmail.com

Svitlana L. Zinovatna¹⁾

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9190-6486>; zinovatnaya.svetlana@op.edu.ua. Scopus Author ID: 57219779480

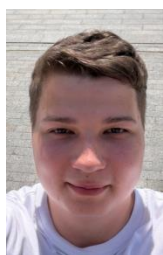
¹⁾ Odesa Polytechnic National University, 1, Shevchenko Ave. Odesa, 65044, Ukraine

ABSTRACT

The article examines the features of automated equipment demand analysis for companies providing rental services. The relevance of improving equipment inventory management in order to reduce the costs of its acquisition, storage, maintenance and repair is substantiated. The main problems of equipment rental companies are analyzed, in particular, asset downtime, mismatch of the demand range, the complexity of accounting for technical condition and the need to forecast future demand. An information representation of equipment is proposed, which takes into account its type, quantity, characteristics, rental cost, physical units, contracts and maintenance costs. Based on the proposed information representation, a set of indicators was formed for analyzing and forecasting equipment demand, in particular, the number of orders, the number of rental days, the seasonality coefficient and the load coefficient. A demand forecasting method was developed, which involves the integrated use of the specified indicators and the multiple linear regression model to determine the forecasted demand. To verify the proposed method, an experimental sample was formed based on a three-year history of data on equipment, orders, rental, availability, maintenance and repair. A comparison of forecasting using the Moving Average, Seasonal Naive and linear regression methods was carried out using the forecast error assessment metric. The results of the experiment determined the possibility of using the proposed approach for quantitative demand forecasting and forming recommendations for increasing, maintaining or optimizing the amount of equipment. The functional capabilities of the software for equipment accounting, management of rental contracts, analysis of use, generation of reports and recommendations for replenishment of stocks are determined. The proposed approach is aimed at supporting decision-making regarding equipment procurement.

Keywords: Equipment demand; demand forecasting; information model; decision support; linear regression; data analysis automation; decision support; software architecture

ІНФОРМАЦІЯ ПРО АВТОРІВ



Хмель Ярослав Віталійович - магістр кафедри Інженерії програмного забезпечення. Національний університет «Одеська політехніка», пр. Шевченка, 1. Одеса, 65044, Україна

Галузь досліджень: інформаційні технології; обробка даних

Yaroslav V. Khmel - master, Odesa Polytechnic National University, 1, Shevchenko Ave. Odesa, 65044, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1985-7528>; kingdomofsamp@gmail.com

Research field: information technology; data processing



Зіноватна Світлана Леонідівна - кандидат технічних наук, доцент кафедри Інженерії програмного забезпечення. Національний університет «Одеська політехніка», пр. Шевченка, 1, Одеса, 65044, Україна

Галузь досліджень: інформаційні технології; обробка даних, покращення продуктивності інформаційних систем

Svitlana L. Zinovatna - Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Odesa Polytechnic National University, 1, Shevchenko Ave. Odesa, 65044, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9190-6486>; zinovatnaya.svetlana@op.edu.ua. Scopus Author ID: 57219779480

Research field: information technology; data processing, improving the performance of information systems