

ОГЛЯД МЕТОДІВ І ЗАСОБІВ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ БУРИЛЬНИХ УСТАНОВОК НА ОСНОВІ ВІМ-ТЕХНОЛОГІЇ

Н. Я. Данилюк*, В. І. Артим

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;
e-mail: d.nazarii97@gmail.com, viartym@gmail.com

У зв'язку із стрімким розвитком технологій, важливість впровадження інноваційних підходів у проєктуванні та будівництві бурильних установок для нафтогазової промисловості стає суттєвою. У даній науковій статті докладно розглянуто потенційні переваги та можливості, які вкладає в себе технологія інформаційного моделювання будівель (ВІМ) в інформаційній підтримці життєвого циклу (ЖЦ) бурильних установок. Починаючи з аналізу існуючих методів, у статті виявлено обмеження традиційних підходів та необхідність переходу до більш інтегрованих технологій. Літературний огляд глибоко висвітлює вже наявні виклики, такі як складність керування процесами та нестабільність керування життєвим циклом бурильного обладнання, що визначають актуальність проведення дослідження в даному напрямку. Методологічний підхід статті включає розгляд впливу ВІМ на всі етапи життєвого циклу, враховуючи позиції всіх учасників. Зазначається важливість встановлення чіткої системи обміну інформацією та взаємодії між учасниками, що допомагає ефективно керувати всіма аспектами проєкту. Реальні приклади впровадження ВІМ ілюструються успішними проєктами, де технологія дозволяє не лише ефективно керувати конструкторськими рішеннями, але і впливати на економічні та якісні показники. Результати дослідження підкреслюють значущість ВІМ як критичного елементу для керування якістю і зменшення витрат нафтогазового обладнання у складних умовах нафтогазового сектору. Обговорення в статті також враховує перспективи розвитку технологій, таких як розширення інтеграції ВІМ в інформаційну систему вищого рівня, а також необхідність створення стандартів та правових рамок для безпеки та конфіденційності даних, робиться акцент на необхідності подальшого наукового дослідження та практичного впровадження, щоб максимально використати потенціал цієї технології. Дослідження також звертає увагу на важливість впровадження цифрових інструментів у нафтогазовому секторі, що включає автоматизацію процесів, підвищення точності прогнозування та зниження ризиків на кожному етапі проєкту. Використання ВІМ дозволяє не лише оптимізувати витрати та збільшувати швидкість розробки, але і забезпечує цілісність даних та покращує співпрацю між всіма учасниками процесу, що є критичним у контексті складності і масштабів проєктів у сучасній нафтовій промисловості.

Ключові слова: технології ВІМ; бурильна установка; життєвий цикл; інформаційна система; підтримка прийняття рішень; PLM.

Due to the rapid development of technology, it is becoming increasingly important to implement innovative approaches in the design and construction of drilling rigs for the oil and gas industry. This research paper discusses in detail the potential benefits and opportunities offered by Building Information Modeling (BIM) technology in the information support of the drilling rig life cycle (LC). Beginning with an analysis of existing methods, the article identifies the limitations of traditional approaches and the need to move to more integrated technologies. The literature review thoroughly highlights the existing challenges, such as the complexity of process control and the instability of drilling equipment life cycle management, which determine the relevance of research in this area. The methodological approach of the article includes consideration of the impact of BIM on all stages of the life cycle, taking into account the positions of all stakeholders. The article emphasizes the importance of establishing a clear system of information exchange and interaction between participants, which helps to effectively manage all aspects of the project. Real-life examples of BIM implementation are illustrated by successful projects where the technology allows not only to effectively manage design decisions, but also to influence economic and quality indicators. The results of the study underline the importance of BIM as a critical element for quality management and cost reduction of oil and gas facilities in the challenging environment of the oil and gas sector. The discussion in the article also takes into account the prospects for technology development, such as the expansion of BIM integration into a higher-level information system, as well as the need to create standards and legal frameworks for data security and privacy, emphasizing the need for further research and practical implementation to maximize the potential of this technology. The study also highlights the importance of implementing digital tools in the oil and gas sector, including process automation, improved forecasting accuracy and risk mitigation at every stage of the project. The use of BIM not only optimizes costs and increases development speed, but also ensures data integrity and improves

collaboration between all stakeholders, which is critical in the context of the complexity and scale of projects in the modern oil industry.

Key words: BIM technologies; drilling rig; life cycle; information system; decision support; PLM.

Вступ

У контексті сучасних технологічних досягнень та постійного розвитку галузей проектування і будівництва, Україна не залишається осторонь впровадження новітніх підходів. Використання технології Building Information Modeling (BIM) на вітчизняному рівні стає необхідністю для досягнення високої ефективності та конкурентоспроможності в глобальному нафтогазовому секторі. У цьому контексті, вивчення та впровадження BIM у процесах ЖЦ бурових установок в Україні має ключове значення для розширення можливостей національної індустрії.

Одночасно з внутрішніми трансформаціями, важливо розглядати підхід до цих питань у світовому контексті. Світовий рівень застосування BIM вже довів його великий потенціал у інформаційній підтримці ЖЦ інженерних споруд. У цьому дослідженні буде проведено аналіз впровадження BIM на вітчизняному та світовому рівнях з метою виявлення оптимальних практик та потенційних вдосконалень, а також охарактеризовано взаємодію цих рівнів у контексті оптимізації процесів ЖЦ бурових установок.

У даному дослідженні, спрямованому на оптимізацію процесів ЖЦ бурових установок з використанням технології BIM, ми намагаємося виявити ключові аспекти, які впливають на результативність цих процесів. Концентрація уваги на вітчизняному та світовому рівнях дозволить охарактеризувати сучасні тенденції та практики в галузі використання BIM у нафтогазовому секторі. Зокрема, планується детально визначити, як використання BIM може вплинути на керування якістю і витратами в ЖЦ бурового обладнання, з'ясувати оптимальні підходи до його впровадження та виявити чинники, що визначають успішність таких проєктів.

Мета та завдання досліджень. Дослідження спрямоване на обґрунтування застосування сучасних BIM-технологій для інформаційної підтримки ЖЦ бурового обладнання з метою керування якістю і витратами.

У контексті цієї мети ставляться наступні завдання: проаналізувати поточні методи стратегій керування ЖЦ бурових установок у нафтогазовій галузі з урахуванням їх обмежень та проблем. Проаналізувати можливості та пере-

ваги застосування технології BIM у процесах оптимізації ЖЦ бурового обладнання для нафтогазової індустрії. Продемонструвати, яким чином BIM-технології можуть бути використані для оптимізації процесів ЖЦ бурового обладнання.

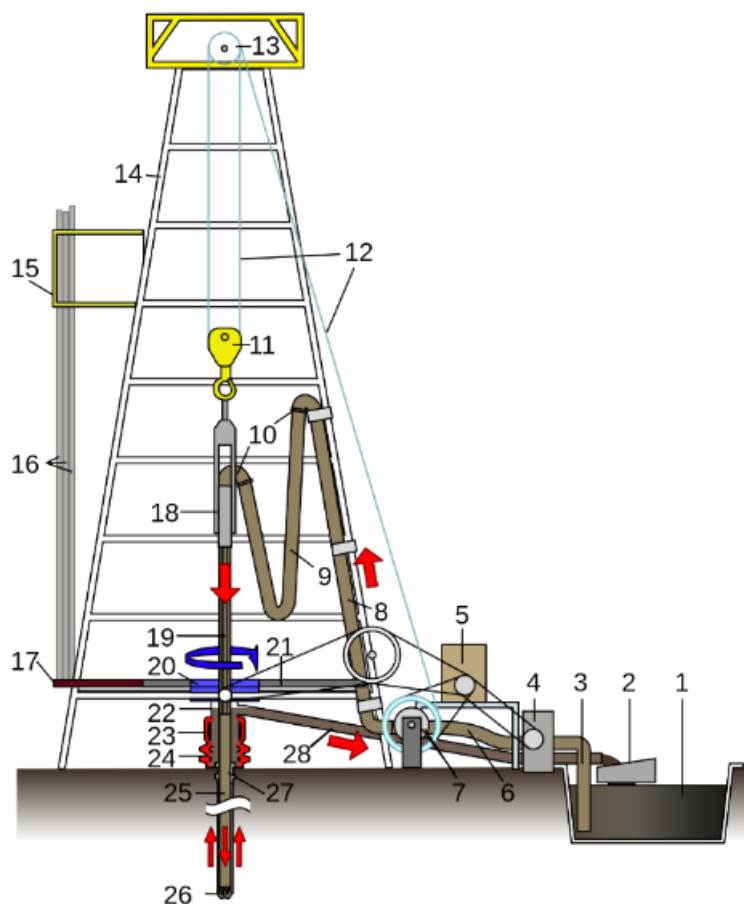
Огляд проблем, які виникають на різних етапах ЖЦ бурового обладнання

Звертаючись до наукових статей за цією темою у нафтогазовій індустрії, можна побачити багато проблем та переваг у впровадженні BIM-технологій. Для прикладу, однією з таких є наукова стаття [1].

Вона досліджує проблеми, пов'язані з проектуванням та будівництвом складних об'єктів, таких як морські нафтогазові платформи. Автори визначають недоліки в існуючих методах керування змінами та розподілу відповідальності в компанії-замовнику. Зазначається, що неправильне керування може призвести до помилок у проєкті, збільшення вартості та невірною розташування обладнання. Автори пропонують концепцію "Матриці Проєкту" для візуалізації управлінської системи проєкту та підкреслюють необхідність інтеграції цієї матриці в процесі проектування. Вони вказують на важливість використання технології BIM для керування інженерними даними та цифровізації процесу проектування. Заключні результати полягають у матриці розподілу влади та відповідальності, а також рекомендаціях щодо ефективного керування проєктом та оптимізації розподілу ролей та обов'язків між учасниками проєкту [1].

Нафтогазова промисловість стикається з викликами у сфері використання бурового обладнання, з необхідністю забезпечення їх високої якості за умов складних експлуатаційних сценаріїв. Проблема полягає у відсутності ефективних стратегій оптимізації процесів, здатних врахувати комплексні чинники, які впливають на якість бурових установок. Використання технології інформаційного моделювання будівель є потенційним рішенням, але вимагає подальших досліджень і розробок для досягнення максимальної ефективності.

Згідно з [3] проблеми бурового обладнання поділяються на: проблеми проектування, проблеми спорудження, проблеми експлуатації, проблеми утилізації.



1 – резервуар для бурового розчину, 2 – вібраційне сито, 3 – всмоктувальна труба, 4 – буровий насос, 5 – двигун, 6 – вібраційна труба, 7 – бурова лебідка, 8 – провідна бурильна труба, 9 – шланг провідної бурильної труби, 10 – коліно труби, 11 – талевий блок, 12 – талевий канат, 13 – кронблок, 14 – стаяк вежі, 15 – балкон робітника, 16 – свічки, 17 – підсвічник, 18 – вертлюг, 19 – стаяк, 20 – буровий ротор, 21 – бурова підлога, 23 – превентор, 24 – противикидні пристрої, 25 – бурильна колона, 26 – бурове долото, 27 – кондукторна колона, 28 – викидна лінія бурового розчину

Рисунок 1 – Складові бурильної установки [2]

Однією із ключових проблем, з якою стикаються підприємства нафтогазової галузі, є складність процесів проектування та будівництва бурильного обладнання. Ці об'єкти є технічно складними системами, що вимагають високого рівня координації на них. Недостатня оптимізація цих процесів може призвести до серйозних фінансових збитків та зниження ефективності експлуатації [5].

Проблеми можуть включати недоліки в проектній документації, неефективне використання ресурсів, а також затримки в термінах будівництва через невдале керування проектом. У контексті складних технологічних та інженерних рішень використання технології BIM стає критично важливим фактором для підвищення ефективності проектів, зменшення ризиків та забезпечення якості бурильних установок в умовах експлуатації.

У статті [1] акцентовано на складності та унікальності будівництва нафтогазових об'єктів, особливо морських платформ. Зазначається, що неправильне керування технічними та операційними аспектами проекту часто веде до помилок та значних витрат. Вона звертає увагу на помилки на етапі детального проектування, закупівлі обладнання та будівництва морських платформ. Наголошується, що існуючі методи керування змінами ускладнюють відстеження наслідків корекцій, що може призвести до збільшення розмірів обладнання та додаткових витрат. Також вона пропонує покращення алгоритмів взаємодії учасників проекту та алгоритмів прийняття технічних та управлінських рішень. Вводиться концепція планування та організації майбутніх проектних та проектувальних процесів із застосуванням принципів керування цілісністю проекту. Ще одним важли-

вим аспектом є визначення двох систем розподілу ролей у компаніях-операторах. Порівнюються радянська та сучасна моделі, наголошується на важливості чіткого розподілу ролей та відповідальності. Описуються проблеми, що виникають при поєднанні зон відповідальності між технічними системами та суміжними відділами. Пропонується використання технічного аналізу об'єкта для запобігання помилкам під час внесення змін. Подано концепцію "Матриці маршруту проекту" для візуалізації рівнів, процесів, суб'єктів та об'єктів у системі керування проектом. Також використано приклад комплексу з експлуатації та технологічного обладнання для візуалізації процесів за участю відділів замовника. Структура «Матриці» змінюється для усунення дублювання функцій. Запропоновано інтегрувати "Матрицю" до загального процесу проектування для встановлення зв'язків між технологічними блоками в єдиному інформаційному просторі проекту. Наведено застосування ВІМ для керування інженерними даними, включаючи створення тривимірних моделей та автоматизацію низки процесів на різних етапах життєвого циклу об'єкта. Показується, як результати впровадження інформаційної моделі оцінюються за критеріями зрілості остаточного рівня серед ВІМ. Зазначається, що цифровий проект із вирівняними взаємозв'язками передається замовнику для керування життєвим циклом. Також запропоновано методологію організації проектування та будівництва об'єктів нафтогазової галузі з використанням ВІМ для вирішення проблем керування змінами під час реалізації проектів складних об'єктів. Виділено вплив ВІМ на керування інженерними даними та переваги програмних комплексів на його основі для різних етапів життєвого циклу об'єкта.

Праця [1] спрямована на оптимізацію терміну служби бурильних установок через використання технології ВІМ. Автор демонструє аспекти інтеграції ВІМ у процес проектування, розглядає методи покращення керування змінами з використанням ВІМ та вивчає вплив цієї технології на всіх етапах життєвого циклу бурильних установок. У роботі представлені приклади успішного впровадження ВІМ у цій галузі та проведено аналіз ефективності використання ВІМ у нафтогазовій галузі, особливо у контексті бурильних установок. Всі ці аспекти можуть доповнити поточну статтю, збагативши її погляд на застосування ВІМ у проектуванні та будівництві нафтогазових об'єктів.

Розглянемо причини відмов елементів бурильної установки. Бурильне нафтогазове об-

ладнання являє собою складні технічні системи, що включають різні компоненти, призначені для буріння свердловин у пошуку та видобутку вуглеводневих ресурсів [3]. Таке обладнання може бути використане як на суші, так і в морі, класифікується за різними критеріями, включаючи метод буріння, глибину свердловин, характеристики геологічних утворень та інші [3].

Деякі ключових компонентів бурильного обладнання з обмеженим терміном служби [4]:

1. Бурові вежі: каркасні конструкції, що забезпечують опору для підвіски бурових труб та обладнання.
2. Бурові труби: деталі, що використовуються для прокладання свердловин.
3. Бурові насоси: механізми для подачі бурового розчину до свердловини.
4. Долота: елементи, що використовуються для руйнування ґрунту під час буріння.
5. Обладнання для обробки та очищення бурового розчину: трубопроводи, фільтри та інші компоненти.
6. Системи керування: електроніка та автоматизовані системи.

Елементи бурильного обладнання схильні до відмов через велику кількість причин. Деякі з ключових: у бурових вежах – через механічну дію, корозію або втомні явища; у бурових трубах можуть бути викликані абразивним впливом ґрунту, корозією та механічними навантаженнями; у бурових насосах пов'язане з механічними та хімічними факторами; у долотах відбуваються через абразивну дію та високі температури; обладнання для обробки та очищення бурового розчину зазнає корозії та зносу через вплив хімічних речовин; системи керування піддаються термічним, вібраційним та електричним навантаженням [3].

Також, причинами відмов компонентів бурильного обладнання є тертя і зношування, зокрема: абразивне зношування і ерозія - вплив абразивних матеріалів, може призвести до зношування бурових труб, доліт та інших елементів; корозія – елементи, що знаходяться в контакті з корозійно-активним середовищем, можуть піддаватися корозії, корозійному зношуванню і втомі, що скорочує їх термін служби; механічні навантаження – значні статичні і циклічні навантаження, вібрації, удари та тиск можуть призвести до деформації конструктивних елементів, втрати цілісності конструкції і герметичності; високі температури – елементи, що піддаються високим температурам у процесі буріння, можуть втрачати міцність та довго-

вічність, інтенсифікуються процеси корозії і зношування [3].

Проблеми проектування [3] включають недосконалий дизайн, де недостатня міцність конструкційних елементів або неправильний вибір матеріалів можуть призвести до відмов. Також до цієї категорії відносяться помилки розрахунків, де неправильні інженерні розрахунки навантажень та деформацій можуть стати фатальними, а також недооцінка впливу динамічних навантажень і вібрацій. Важливо враховувати відсутність або неправильність резервування критичних компонентів та систем для контролю та моніторингу стану вузлів, що також може спричинити відмови. Неправильна конфігурація систем, зокрема неправильне розташування елементів, може створювати несприятливі умови роботи [3].

Проблеми виготовлення та спорудження включають дефекти виготовлення, такі як тріщини, пористість та неоднорідність матеріалу, які значно знижують міцність та зносостійкість. Помилки у процесі зборки, як-от неправильна збірка вузлів та агрегатів або неналежне затягування гвинтових з'єднань, також можуть бути критичними. Використання матеріалів, що не відповідають вимогам специфікації, і погана якість обробки матеріалів також належать до цієї категорії. Невідповідність технологічних процесів, включаючи порушення технологічних режимів та недотримання технологічних інструкцій, також можуть стати причиною відмов [3].

Проблеми експлуатації охоплюють неправильне використання обладнання, наприклад, перевищення допустимих навантажень або використання не за призначенням. Недостатнє технічне обслуговування, включаючи недотримання графіків планово-попереджувальних ремонтів та несвоєчасну заміну зношених або пошкоджених деталей, також може призвести до відмов. Вплив зовнішніх факторів, таких як корозія, ерозія, агресивні середовища, екстремальні температури та вологість, може чинити негативний вплив. Людський фактор, зокрема помилки операторів та обслуговуючого персоналу, а також недостатня кваліфікація чи недостатнє навчання персоналу, також може стати причиною відмов [3].

Ці класифікації допомагають ідентифікувати джерела проблем і вжити відповідних заходів для їх усунення та попередження подальших відмов.

Ефективне технічне обслуговування, використання оптимальних матеріалів, адаптація конструкції до умов експлуатації та оптимізація

процесів буріння можуть допомогти впоратися з цими причинами та продовжити термін служби бурильного обладнання [6].

Фактори, що впливають на термін служби бурильного обладнання, включають умови експлуатації, якість матеріалів, регулярне технічне обслуговування і ефективне керування процесами буріння. Оптимізація процесу проектування та будівництва з використанням BIM сприяє продовженню терміну служби обладнання шляхом більш якісного проектування, керування змінами та підтримання ефективності протягом усього життєвого циклу [7].

Області використання BIM та PLM у нафтогазовому секторі

У будівельній справі та механічній інженерії для того, щоб оптимізувати процеси ЖЦ, можна часто почути про BIM [10] та PLM [8]. Проте, насправді, ці поняття варто чітко розділяти, щоб розуміти їхнє значення.

Building Information Modeling (BIM) — це процес, що передбачає створення та керування цифровими представленнями фізичних і функціональних характеристик будівель та інших фізичних активів [10].

Project Lifecycle Management (PLM) — це процес керування всім життєвим циклом продукту – від його створення до проектування та виробництва, а також обслуговування та утилізації виготовлених продуктів. PLM об'єднує людей, дані, процеси та бізнес-системи та забезпечує інформаційну основу для компаній та їхніх розширених підприємств [9]. PLM орієнтується на керування (від ідеї до виведення з експлуатації) складними продуктами, такими як нафтогазове обладнання [9], включає у себе керування даними, процесами та зв'язками між усіма етапами життєвого циклу. BIM створює детальні цифрові моделі будівель для покращення проектування, будівництва та експлуатації. Забезпечує візуалізацію, аналіз та керування проектом з урахуванням всіх аспектів споруди [10].

У нафтогазовій сфері BIM [10] може розглядатися як частина PLM [8] у тому сенсі, що моделі та дані, створені в BIM [10], можуть бути інтегровані в PLM-систему [9] для комплексного керування життєвим циклом об'єктів. Наприклад, дані з BIM-моделей можуть використовуватися для керування інформацією про проектування та будівництво в PLM-системі, забезпечуючи безперервний потік даних від стадії проектування до експлуатації і обслуговування.

Таблиця 1 – Области використання BIM та PLM [10,11]

BIM	PLM
Проектування та планування будівельних споруд	Керування життєвим циклом виробу
Збільшення ефективності будівництва та проектування будівельних споруд	Співпраця та координація в процесах ЖЦ
Керування інформацією ЖЦ будівельних споруд	Оптимізація керування ресурсами в процесах ЖЦ

Інтеграція BIM [10] і PLM [8] дозволяє забезпечити узгодженість даних, знизити ризики і покращити контроль за проектами. Це особливо важливо в нафтогазовій сфері, де проекти мають високий рівень складності і вимагають точної координації між різними етапами життєвого циклу.

BIM [10] можна вважати частиною PLM [8], яка фокусується на проектуванні та керуванні інформацією про будівельні об'єкти, тоді як PLM [8] охоплює більш широкий спектр керування ЖЦ продукту загалом.

Переваги BIM для нафтогазової галузі [11]:

Покращене проектування та планування будівельних споруд: BIM дозволяє створювати віртуальні 3D моделі будівельних споруд, а отже, візуалізувати всю інфраструктуру об'єкта, включаючи трубопроводи, споруди, обладнання та інше. Це допомагає виявити проблеми спорудження та оптимізувати проект інфраструктури ще до початку будівництва.

Збільшення ефективності будівництва: Завдяки BIM можна точно розпланувати будівельні роботи, оптимізувати використання ресурсів, скоротити час будівництва та зменшити можливі витрати.

Краще керування інформацією: BIM дозволяє створювати досконаліші цифрові двійники будівельних об'єктів, що містять всю необхідну інформацію, таку як геометричні параметри, матеріали, технічні характеристики тощо. Це полегшує керування об'єктом на усіх етапах життєвого циклу.

Переваги PLM для нафтогазової галузі [12]:

Керування життєвим циклом продукту: PLM дозволяє керувати всім життєвим циклом продукту, починаючи від концепції та проектування, і закінчуючи виробництвом, експлуатацією та обслуговуванням. Для нафтогазової галузі це важливо, оскільки проекти у цій сфері

Таблиця 2 – Приклади програмного забезпечення, яке застосовується для BIM та PLM відповідно [13-22]

BIM-технології	PLM-системи
Autodesk Revit	Siemens Teamcenter
Bentley MicroStation	3DEXPERIENCE (3DX)
Autodesk Civil 3D	PTC Windchill
AVEVA E3D	AVEVA PLM
TEKLA Structures	SAP PLM

мають довгий життєвий цикл та потребують постійного керування.

Покращена співпраця та координація: PLM дозволяє покращити співпрацю між різними відділами та сторонами, що працюють над проектом. Це допомагає знизити ймовірність помилок та покращити якість проекту.

Оптимізація використання ресурсів: PLM дозволяє більш ефективно використовувати ресурси, такі як матеріали, обладнання та трудові ресурси, що допомагає знизити витрати та підвищити прибутковість проектів.

Програмне забезпечення BIM:

Autodesk Revit. Це один з найпопулярніших програмних засобів для BIM. Revit дозволяє інженерам та архітекторам створювати деталізовані 3D моделі будівель та інфраструктури, включаючи трубопроводи та споруди, що робить його корисним для проектування нафтогазових об'єктів [13].

Bentley MicroStation. Це ще одне поширене програмне забезпечення для проектування інфраструктури, яке підтримує BIM. MicroStation дозволяє створювати 3D моделі та візуалізації інфраструктури, а також забезпечує інструменти для аналізу та керування проектами [14].

Autodesk Civil 3D. Хоча орієнтоване, насамперед, на проектування інженерних систем та транспортних маршрутів, Civil 3D також може бути використане для проектування нафтогазових об'єктів, таких як дорожні мережі та трубопроводи [15].

AVEVA E3D. Призначена для проектування технологічних установок, включаючи нафтопереробні заводи, хімічні заводи та морські установки. Пропонує комплексні можливості проектування та проектування заводу з акцентом на взаємодію та керування конфліктами [16].

Tekla Structures. Tekla добре підходить для проектів із застосуванням сталевих конструкцій.

цій, таких як морські платформи, резервуари для зберігання та конструкційні опори. Пропонує ефективні можливості моделювання та деталізації для інженерів-конструкторів і виробників [17].

Програмне забезпечення PLM:

Siemens Teamcenter. Дана програма є одним із провідних рішень у галузі керування життєвим циклом продукту і широко використовується в різних галузях, включаючи нафтогазову. Забезпечує керування даними, процесами та спільною роботою на всіх етапах життєвого циклу продукту [18].

3DEXPERIENCE (3DX). PLM система спеціально розроблена для нафтогазової галузі, що забезпечує інтеграцію процесів управління життєвим циклом продукції для підвищення ефективності та зниження ризиків [19].

PTC Windchill. Ще одне широко використовуване PLM-рішення, яке надає інструменти для керування даними, процесами та спільною роботою на всіх етапах життєвого циклу продукту. Вона також може бути адаптована для потреб нафтогазової галузі [20].

AVEVA PLM. Розроблена для задоволення конкретних потреб таких галузей промисловості, як нафтова та газова, пропонуючи можливість для керування складними інженерними даними, співпраці над проектами та керування відповідністю. Інтегрується з іншими програмними рішеннями AVEVA, щоб забезпечити комплексну платформу PLM, адаптовану для нафтогазового сектору [21].

SAP PLM. Надає комплексне PLM-рішення як частину інтегрованого ERP-пакета SAP, пропонуючи можливість для керування даними про продукт, спільної роботи над проектами та відповідності в різних галузях промисловості, включаючи нафтову та газову. Інтегрується з іншими модулями SAP для підтримки наскрізних бізнес-процесів і забезпечення узгодженості даних у всій організації [22].

Ці програмні продукти надають комплексні інструменти для керування процесами та даними на всіх етапах розробки та експлуатації нафтогазових проектів, допомагаючи покращити ефективність, скоротити витрати та знизити ризики.

Порівняння BIM-технологій та PLM-системи на прикладі програмного комплексу AVEVA

Порівняємо AVEVA E3D [16] і AVEVA PLM [21] в контексті області їх використання та застосування у нафтогазовій сфері (табл. 3).

AVEVA E3D [16] спеціально розроблений для проектування заводів та інженерних проектів у таких галузях, як нафтогазова, нафтохімічна та технологічне виробництво. Має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс користувача, призначений для проектування складних технологічних установок, включаючи нафтопереробні заводи, хімічні заводи та морські установки. Є велика бібліотека компонентів і інструменти моделювання для створення інтелектуальних 3D-моделей із багатьма метаданими та інформацією про атрибути. Є розширені можливості виявлення і уникнення зіткнень для виявлення та вирішення зіткнень між різними системами заводу до початку будівництва. Зручний у використанні в нафтовій і газовій промисловості: AVEVA E3D [16] добре підходить для нафтових і газових проектів, пропонуючи комплексні можливості проектування установки та інженерні можливості. Він допомагає інженерам і дизайнерам створювати точні 3D-моделі технологічних установок, оптимізувати компонування установки та забезпечити відповідність галузевим стандартам і нормам.

AVEVA PLM [21] — це рішення для керування життєвим циклом продукту (PLM), призначене для керування інженерними даними, співпраці над проектом, керування змінами та контролю документів протягом життєвого циклу продукту. Має інструменти для керування даними про продукт, включаючи моделі CAD, специфікації та документацію, протягом усього життєвого циклу від проектування до утилізації. Є можливості співпраці в проектах для полегшення спілкування та співпраці між багатofункціональними командами, постачальниками та зовнішніми партнерами. Працює з процесами керування змінами для відстеження та керування змінами в конструкціях і конфігураціях продуктів, забезпечення цілісності даних і відповідності нормативним вимогам. Володіє зручністю використання в нафтовій і газовій промисловості: AVEVA PLM [21] доповнює AVEVA E3D [16], надаючи можливість для керування інженерними даними та проектною співпраці протягом життєвого циклу продукту. Це допомагає організаціям у нафтовій і газовій промисловості оптимізувати процеси розробки продуктів, покращити співпрацю між міжфункціональними командами та забезпечити відповідність нормативним вимогам.

AVEVA E3D [16] зосереджується на проектуванні та розробці заводу, тоді як AVEVA PLM [21] зосереджується на управлінні інженерними даними та співпраці над проектами протягом життєвого циклу продукту.

Таблиця 3 – Порівняння BIM-технологій та PLM-системи на прикладі програмного комплексу AVEVA [16,21]

	BIM	PLM
	AVEVA E3D	AVEVA PLM
Фокус	Деталізоване проектування та інженерія	Керування життєвим циклом продукту
Ключові особливості	<ul style="list-style-type: none"> - Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс користувача; - Розширена бібліотека компонентів; - Розширене виявлення зіткнень і уникнення зіткнень 	<ul style="list-style-type: none"> - Інструменти для керування даними про продукт; - Можливості співпраці над проектами; - Процеси керування змінами
Зручність використання	Добре підходить для проектування складних технологічних установок, таких як нафтопереробні заводи, хімічні заводи та морські установки	Надає можливості для керування інженерними даними та спільної роботи над проектом протягом життєвого циклу продукту
Інтеграція	Можна інтегрувати з AVEVA PLM для наскрізного керування життєвим циклом	Може інтегруватися з AVEVA E3D, щоб забезпечити комплексне рішення для нафтогазових проєктів
Приклади використання	<ul style="list-style-type: none"> - Проектування нафтопереробних заводів; - Моделювання морських платформ; - Оптимізація планування заводу 	<ul style="list-style-type: none"> - Керування даними про продукт для обладнання та компонентів; - Співпраця над проектною документацією та специфікаціями; - Відстеження змін дизайну продукції
Індустріальний фокус	Нафта і газ, нафтохімія, технологічне виробництво	Різні галузі промисловості, включаючи нафту та газ
Головні переваги	<ul style="list-style-type: none"> - Точне 3D моделювання складних технологічних установок; - Покращене виявлення та вирішення конфліктів; - Оптимізовані процеси проектування заводу 	<ul style="list-style-type: none"> - Централізоване керування даними про продукт; - Покращена співпраця між командами проєкту; - Покращена відповідність і дотримання нормативних документів

Зручність використання: AVEVA E3D [16] пропонує спеціалізовані інструменти для проектування складних технологічних установок, тоді як AVEVA PLM [21] надає ширші можливості для керування даними про продукт і спільної роботи над проектами.

Інтеграція: хоча обидва рішення є частиною програмного комплексу AVEVA, вони використовуються для різних цілей і можуть доповнювати одне одного. AVEVA PLM [21] може інтегруватися з AVEVA E3D [16], щоб надати можливості наскрізного керування життєвим циклом для нафтогазових проєктів, забезпечуючи узгодженість даних і співпрацю в організації.

Підводячи підсумок, AVEVA E3D [16] використовується для проектування заводів і інженерних проєктів у нафтовій і газовій промисловості, тоді як AVEVA PLM [21] надає можливості для керування інженерними даними та спільної роботи над проектами протягом життєвого

циклу продукту. Разом вони пропонують комплексне рішення для керування нафтогазовими проєктами від проектування до експлуатації.

Обидві технології мають свої переваги і можуть бути дуже корисними для нафтогазової галузі. BIM [10] може бути особливо корисним на стадії проектування та будівництва інфраструктури, такої як нафтопроводи та заводи, у той час як PLM [9] може допомогти в керуванні процесами та даними на всіх етапах життєвого циклу проєкту, включаючи проектування, виробництво, експлуатацію та обслуговування. Використання обох технологій у комбінації може принести максимальну вигоду, забезпечуючи повний контроль за проєктами та оптимізацію всіх аспектів їх виконання.

Застосування PLM систем та BIM технологій для бурового обладнання забезпечує інтеграцію даних і процесів на всіх етапах його життєвого циклу – від проектування і виробництва

до експлуатації та утилізації. PLM [9] системи централізують управління даними про продукт протягом всього його життєвого циклу, що включає проектування, виробництво, випробування, експлуатацію та утилізацію. Це забезпечує доступ до актуальної інформації, відстеження змін у проекті та ефективну співпрацю в команді, що підвищує ефективність розробки і контролю якості.

ВІМ технології дозволяють створювати та використовувати цифрові моделі бурового обладнання, поліпшуючи процеси проектування, будівництва та експлуатації [10]. Вони надають можливість візуалізації тривимірних моделей, що допомагає краще розуміти проектні рішення та оптимізувати їх. Моделі ВІМ [10] містять всю необхідну інформацію про обладнання, включаючи технічні характеристики, матеріали, кошториси та графіки виконання робіт, що сприяє покращенню координації між учасниками проекту та зниженню ризиків помилок. Крім того, ВІМ [10] дозволяє проводити аналіз та симуляції різних сценаріїв експлуатації, виявляючи потенційні проблеми ще на етапі проектування.

Життєвий цикл бурового обладнання включає кілька етапів, кожен з яких має свої проблеми. На етапі проектування можуть виникати проблеми з координацією між різними дисциплінами, доступом до актуальної інформації та помилками в проектних розрахунках. На етапі виробництва можливі дефекти виготовлення, помилки у збірці, проблеми з постачанням матеріалів та відсутність ефективного контролю якості. Під час експлуатації основними проблемами є високий рівень зносу та часті поломки, недостатнє технічне обслуговування та неправильне використання обладнання. На етапі утилізації виникають проблеми з екологічною безпекою та високими витратами.

ВІМ технології допомагають вирішити ці проблеми. Вони забезпечують інтеграцію даних і дозволяють усім учасникам проекту працювати з актуальною інформацією, що знижує ризик помилок і забезпечує більш точні проектні рішення. Візуалізація тривимірних моделей дозволяє краще розуміти конструкцію бурової установки та виявляти потенційні проблеми на ранньому етапі. Автоматизація процесів проектування за допомогою інструментів, таких як Dymapo [23] у Revit [13], знижує ймовірність людських помилок.

ВІМ [10] моделі містять точні дані про всі компоненти, що знижує ризик виробничих дефектів. Інтегровані системи контролю якості забезпечують відповідність виробленої продук-

ції вимогам проекту. Візуалізація процесів зборки та виробництва допомагає покращити координацію та ефективність.

На етапі експлуатації ВІМ [10] моделі містять всю необхідну інформацію для технічного обслуговування, що дозволяє планувати та виконувати його своєчасно. Системи моніторингу та управління даними забезпечують оперативний доступ до інформації про стан обладнання, а аналіз і симуляція експлуатаційних сценаріїв допомагають виявляти та усувати потенційні проблеми до їх виникнення.

На етапі утилізації ВІМ [10] моделі містять дані про матеріали та компоненти, що дозволяє ефективно планувати процеси утилізації. Інформація про екологічні аспекти допомагає забезпечити безпечну утилізацію обладнання.

Таким чином, застосування PLM систем та ВІМ технологій значно підвищує ефективність управління життєвим циклом бурового обладнання, знижуючи ризики та покращуючи якість на всіх етапах.

Переваги використання Revit та компонента Dymapo для бурильного обладнання

Revit [13] може бути надзвичайно корисним для проектування, виготовлення та експлуатації бурильного обладнання завдяки своїм можливостям з інформаційного моделювання (ВІМ). Ця платформа забезпечує інженерам та проєктувальникам потужні інструменти для створення точних, детальних і взаємозв'язаних моделей. Ось деякі переваги програмного комплексу Autodesk Revit [13] для бурильного обладнання:

1. Створення детальних моделей. Revit [13] дозволяє створювати високоточні тривимірні моделі бурильного обладнання, включаючи всі його компоненти та вузли. Це забезпечує візуалізацію конструкції на ранніх етапах проектування, що дозволяє краще розуміти і аналізувати складні деталі та зв'язки між ними.

2. Інформаційне моделювання. Кожен елемент у моделі Revit [13] містить повний набір інформації, включаючи матеріали, технічні характеристики та інші необхідні дані. Це дозволяє ефективно керувати інформацією про обладнання на всіх етапах життєвого циклу - від проектування до експлуатації.

3. Координація між дисциплінами. Revit [13] забезпечує інтеграцію роботи різних дисциплін (архітектурної, інженерної, механічної та електричної) в єдиній моделі. Це дозволяє уникнути конфліктів між системами та компонентами, що знижує ризик помилок і потребу в переробках.

4. Аналіз і симуляція. Revit [13] підтримує різні інструменти для аналізу і симуляції, включаючи статичний і динамічний аналіз конструкцій, а також аналіз продуктивності систем. Це дозволяє проводити тестування і оптимізацію конструкцій бурильного обладнання до початку виробництва.

5. Автоматизація процесів. За допомогою інструментів автоматизації, таких як Dynamo [23] для Revit [13], можна автоматизувати повторювані завдання, що знижує час на проектування та мінімізує людські помилки. Це особливо корисно для створення складних параметричних моделей та рутинних завдань.

6. Керування змінами. Revit [13] забезпечує ефективне керування змінами у проєктах. Всі зміни автоматично відображаються у моделі, що дозволяє зберігати актуальність даних та уникати непорозумінь між учасниками проєкту.

7. Документація та звітність. Revit [13] автоматично генерує детальні креслення та специфікації на основі 3D-моделі. Це забезпечує точність і послідовність документації, що важливо для виробництва та монтажу бурильного обладнання.

8. Моніторинг та керування експлуатацією. Після введення обладнання в експлуатацію, модель Revit [13] може використовуватися для моніторингу стану та керування технічним обслуговуванням. Інформація про всі компоненти та їх стан зберігається в єдиній базі даних, що спрощує планування і проведення ремонтних робіт.

9. Спільна робота та обмін даними. Revit [13] підтримує роботу в хмарному середовищі, що дозволяє різним командам працювати над проєктом одночасно з будь-якої точки світу. Це сприяє більш ефективній співпраці та обміну даними між різними підрозділами та партнерами.

Revit [13] може бути потужним інструментом для створення, аналізу, керування та обслуговування бурильного обладнання, що значно підвищує ефективність і якість проєктів у нафтогазовій галузі.

Dynamo [23] у Revit [13] – це візуальне програмне середовище, що дозволяє автоматизувати процеси проектування та створювати складні геометричні форми без необхідності писати код. Воно розширює можливості Revit [13] за рахунок візуального програмування, що полегшує створення і керування складними параметричними моделями. Dynamo [23] використовує графічний інтерфейс для створення програмного коду, де користувачі можуть створювати алгоритми шляхом з'єднання блоків (вузлів), кожен з яких представляє певну операцію

або функцію. Завдяки цьому середовищу можна автоматизувати повторювані завдання в Revit, що значно підвищує продуктивність такої роботи. Наприклад, можна автоматизувати створення складних структур, оновлення параметрів елементів або генерацію звітів.

Dynamo [23] дозволяє створювати та аналізувати різні варіанти дизайну за допомогою алгоритмічного підходу, що корисно для дослідження та оптимізації проєктних рішень. Ця технологія може взаємодіяти з іншими програмами та базами даних, що дозволяє інтегрувати дані з різних джерел і використовувати їх у проєктах Revit [13]. Таким чином, Dynamo [23] додає додаткові інструменти та можливості в Revit [13], дозволяючи користувачам створювати індивідуальні рішення, які виходять за межі стандартних можливостей Revit. Окрім того, Dynamo [23] є корисним інструментом для навчання програмуванню та алгоритмічному мисленню в архітектурі, інженерії та будівництві.

Особливості Dynamo [23] у Revit [13] включають гнучкість та адаптивність, адже користувачі можуть створювати та налаштовувати скрипти під свої специфічні потреби. Dynamo [23] має велику кількість бібліотек та пакетів, які розширюють його функціональність. Користувачі можуть завантажувати та використовувати додаткові вузли для виконання специфічних завдань. Важливо зазначити, що існує велика спільнота користувачів Dynamo [23], яка активно ділиться своїми напрацюваннями, прикладами скриптів та надає підтримку через форуми та онлайн-ресурси.

Dynamo [23] може бути корисним для бурильного обладнання завдяки автоматизації процесів створення та модифікації конструкцій моделей, що може включати автоматичне розміщення елементів, оптимізацію конструкцій та оновлення параметрів моделей. Використовуючи Dynamo [23], можна проводити аналіз та оптимізацію конструкцій бурильного обладнання, виявляючи найефективніші варіанти та мінімізуючи витрати матеріалів. Dynamo [23] дозволяє проводити симуляції різних сценаріїв роботи бурильного обладнання, аналізувати результати та вносити необхідні корективи в проєкт. Крім того, за допомогою Dynamo [23] можна інтегрувати дані з різних джерел, таких як системи моніторингу або інші програмні забезпечення, для покращення керування та експлуатації бурильного обладнання. Автоматизація рутинних завдань та перевірка проєктних рішень допомагає зменшити кількість людських помилок, що підвищує загальну надійність і безпеку бурильного обладнання.



Рисунок 2 – Переваги BIM-технологій [власна схема, 11]

Особливості технологій BIM порівняно з PLM [24]

Інтегровані дані про будівельну структуру. Технології BIM зазвичай пропонують більш широкі можливості інтегрованого керування даними, включаючи не тільки дані проектування, але й інформацію, пов'язану з будівництвом, експлуатацією та технічним обслуговуванням [10].

Візуалізація. BIM надає більш сучасні можливості візуалізації інфраструктури, що дозволяє сторонам краще отримати очікуваний дизайн і візуалізувати остаточний продукт ще до початку будівництва [10].

Керування життєвим циклом будівельної інфраструктури. В той час, як PLM акцентує в основному на життєвому циклі виробу взагалі, BIM охоплює весь життєвий цикл виробу як будівельної структури, починаючи від проектування та будівництва до експлуатації та технічного обслуговування.

Інтероперабельність (можливість створення систем з довільних неоднорідних, розподілених компонентів на базі уніфікованих інтерфейсів або протоколів) [25] з ПЗ будівельної індустрії. Технології BIM часто забезпечують кращу інтероперабельність [25] з іншими програмними засобами, які використовуються в будівельній індустрії, що забезпечує спільну роботу між учасниками проекту.

BIM має велику кількість конкурентних переваг для нафтогазової галузі [11]. По-перше, він сфокусований на проектуванні та будівництві фізичних об'єктів, таких як нафтопроводи, трубопроводи та заводи. Також він дозволяє створювати детальні 3D моделі інфраструкту-

ри, що полегшує попереднє передбачення проблем та оптимізацію проекту. Крім того, BIM [11] забезпечує можливість візуалізації та координації проекту, що допомагає покращити співпрацю між учасниками процесу. Оптимізація будівництва є ще однією перевагою BIM [11]. Завдяки цій технології можна точніше розпланувати будівельні роботи, оптимізувати використання ресурсів та скоротити час будівництва.

Крім того, BIM [10] забезпечує керування інформацією, яка стосується даних про об'єкти, проектної інформації, експлуатаційних та будівельних даних, аналізу та симуляції, інформації про довкілля та безпеку, а також фінансової інформації на всіх етапах життєвого циклу об'єкта, що значно полегшує його керування та обслуговування. Нарешті, існують спеціалізовані BIM-програми та інструменти, адаптовані для потреб нафтогазової галузі, що робить їх більш придатними для вирішення специфічних завдань у цій сфері.

Підводячи підсумок, хоча системи PLM є важливими для керування проектуванням і розробкою обладнання в нафтовій і газовій промисловості, технології BIM пропонують більш спеціалізовані можливості для проектування, будівництва та керування такими будівельними структурами як нафтові платформи, переробні заводи, трубопроводи та інші інфраструктурні об'єкти. Це дозволяє підвищити точність проектування, оптимізувати процеси будівництва і забезпечити ефективну експлуатацію і технічне обслуговування об'єктів протягом усього їх ЖЦ.

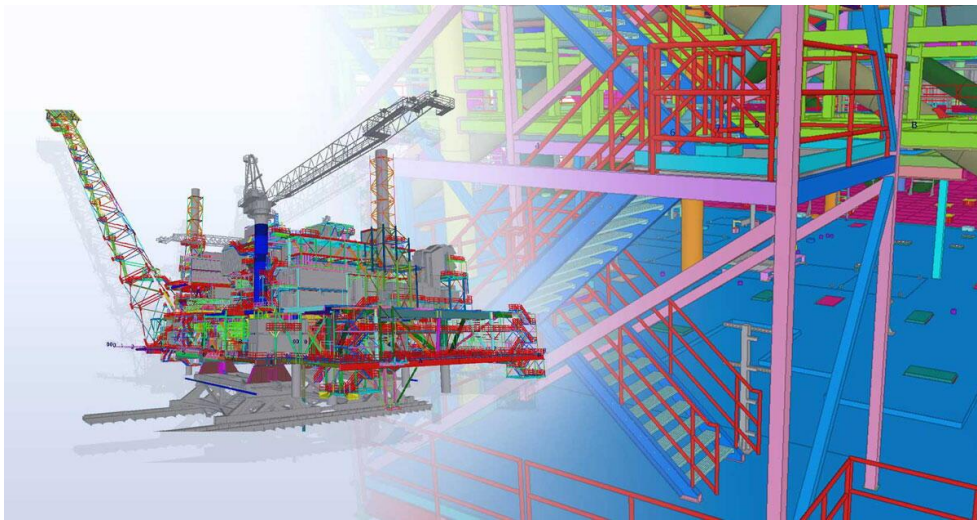


Рисунок 3 – Проект нафтової платформи в Каспійському морі з використанням BIM-моделювання [28]

Керування якістю і витратами в ЖЦ бурильного обладнання за допомогою оптимізації процесів та інтегрування BIM-технологій у них

Керування якістю і витратами в ЖЦ бурильного обладнання шляхом оптимізації процесів та впровадження BIM-технологій включає декілька ключових аспектів [26]:

1. Інтеграція BIM у проектування:

Використання технології BIM при проектуванні бурильних установок дозволяє створювати цифрові двійники (тривимірні моделі), які включають детальні характеристики всіх компонентів і систем. Це сприяє більш точному уявленню про майбутню конструкцію, дозволяючи виявити потенційні проблеми ще на етапі проектування.

2. Керування даними протягом життєвого циклу:

BIM може забезпечувати централізоване керування даними протягом усього життєвого циклу бурильного обладнання, починаючи від проектування та будівництва до експлуатації та обслуговування. Це знижує ймовірність втрати даних, полегшує процеси оновлення та модернізації, що значною мірою впливає на якість обладнання.

3. Оптимізація процесів будівництва та обслуговування:

BIM дозволяє проводити віртуальне моделювання процесів будівництва та обслуговування. Це дає можливість оптимізувати послідовність операцій, запобігаючи зіткненням та конфліктам у процесі реального виконання. Оптимізовані процеси будівництва та обслуговування можуть зменшити знос та підвищити ефективність робіт.

4. Моніторинг стану обладнання:

Використання сенсорів та систем моніторингу, інтегрованих із BIM, дозволяє відстежувати стан бурильних установок у режимі реального часу. Раннє виявлення потенційних проблем дозволяє вжити заходів щодо запобігання поломкам та збільшенню терміну служби.

5. Технічне обслуговування та заміна:

На основі даних BIM можна розробляти оптимальні плани технічного обслуговування та заміни компонентів бурильних установок. Ефективний розподіл ресурсів для заміни зношених елементів відповідно до їх фактичного стану може суттєво продовжити термін служби [26].

Об'єднання BIM-технологій з оптимізованими процесами проектування та будівництва допомагає створити більш стійкі та довговічні бурильні установки, що знижує зношування та забезпечує ефективне використання обладнання в нафтогазовій галузі [26].

Оптимізація процесів проектування та будівництва бурильних установок із використанням BIM спрямована на збільшення їх терміну служби та якісних показників обладнання. Ось кілька ключових аспектів цього підходу:

1. Деталізоване моделювання:

BIM дозволяє створювати детальні цифрові тривимірні моделі бурильних установок, включаючи всі компоненти та системи (рис. 3). Це забезпечує точне уявлення майбутньої конструкції, дозволяючи виявити потенційні проблеми та конфлікти на етапі проектування [27].

2. Віртуальне моделювання будівництва:

За допомогою BIM можливе віртуальне моделювання процесів будівництва бурильних установок. Це дозволяє оптимізувати послідов-



Рисунок 4 – Переваги BIM-процесів для бурових установок [власна схема, 30]

ність операцій, запобігаючи зіткненням і конфліктам, що знижує ризик помилок та прискорює процес будівництва [27].

3. Керування життєвим циклом:

BIM забезпечує централізоване керування даними протягом усього життєвого циклу бурових установок. Інформація, що створена на етапі проектування, стає основою для наступних етапів, таких як будівництво, експлуатація та обслуговування [29].

4. Інтеграція із системами моніторингу:

BIM можна інтегрувати із системами моніторингу стану обладнання. Це забезпечує відстеження в реальному часі установок, дозволяючи оперативно реагувати на зміни стану і попереджати потенційні поломки [27].

5. Оптиміальне технічне обслуговування:

На основі даних BIM можна розробляти оптимальні плани обслуговування бурових установок. Це включає попереднє визначення термінів заміни зношених компонентів, що сприяє збільшенню терміну служби обладнання [29].

6. Навчання та оновлення персоналу:

BIM також може бути використаний для навчання персоналу, залученого до проектування, будівництва та обслуговування установок. Це сприяє більш ефективному використанню обладнання та попередженню помилок, пов'язаних із людським фактором [27].

Оптимізація процесів за допомогою BIM сприяє створенню ефективніших, надійних і довговічних бурових установок, що, зрештою, продовжує термін їхньої служби.

Аналіз прикладів застосування BIM у компаніях нафтогазової галузі для бурового обладнання

У сучасній нафтогазовій галузі кілька великих компаній успішно впровадили BIM-технології для покращення керування змінними у проєктах бурового обладнання [30].

Прозорість у проєктах: Shell використовує BIM для створення прозорих та віртуальних моделей своїх проєктів бурових установок. Це забезпечує точне керування змінами в дизайні, ідентифікацію потенційних змінних та прийняття інформованих рішень [31].

Автоматизоване керування змінами: ExxonMobil запровадила систему автоматизованого керування змінами на базі BIM. Це дозволяє компанії швидко реагувати на зміни у проєкті бурових установок, аналізувати їх вплив та мінімізувати ризики [32].

Інтеграція життєвого циклу: Chevron успішно інтегрує зміни, що вносяться в дизайн бурових установок, в життєвий цикл об'єкта з використанням BIM. Це включає відстеження змінних на етапах проектування, будівництва та подальшої експлуатації [33].

Сценарії аналізу впливу: BP застосовує BIM для проведення сценарних аналізів впливу змінних. Це допомагає компанії прогнозувати та оцінювати різні варіанти змін у проєкті бурових установок, що сприяє прийняттю обґрунтованих рішень [34].

Інновації в керуванні змінами: Total інноваційно підходить до керування змінними, використовуючи BIM. Вони впроваджують нові

методи оптимізації керування змінами у проєктах бурильних установок, що базуються на цифрових моделях та даних [35].

Ці компанії є прикладами того, як застосування BIM у нафтогазовій галузі дає конкретні результати в керуванні змінними проєктами бурильного обладнання, забезпечуючи більш ефективні, точні та інноваційні підходи до керування проєктами [36].

Висновки

Впровадження технології BIM у процесі проєктування та будівництва бурильних установок відкриває нові горизонти для оптимізації та збільшення їхнього терміну служби, покращення якості такого обладнання та економічних показників. Шляхом створення детальних цифрових моделей та віртуального моделювання будівництва, BIM забезпечує більш точне та ефективне проєктування, запобігаючи помилкам на ранніх стадіях та знижуючи ризики порушень. Централізоване керування даними протягом життєвого циклу обладнання дозволяє ефективно керувати процесами експлуатації та обслуговування.

Інтеграція BIM із системами моніторингу та попереднє планування технічного обслуговування створюють можливість оперативного реагування на зміни стану установок та попередження передчасних відмов. Крім того, BIM є інструментом для навчання персоналу, що підвищує ефективність використання обладнання та знижує ризики, пов'язані з людським фактором.

В результаті цих інновацій процеси проєктування та будівництва бурильного обладнання стають прозорішими, стійкішими та якіснішими. Оптимізація із застосуванням BIM створює фундамент для збільшення якісних та економічних показників нафтогазового обладнання, сприяючи підвищенню ефективності в нафтогазовій галузі та забезпечуючи стійкий та надійний процес буріння.

Істотні покращення якісних та економічних показників бурильного обладнання досягаються за рахунок системного підходу до керування даними та процесами, запровадження принципів керування цілісністю проєкту. Технологія BIM надає не лише інструменти візуалізації та моделювання, але й способи ефективної координації між учасниками проєкту, знижуючи ймовірність помилок та покращуючи взаємодію.

Оптимізація процесів проєктування та будівництва бурильного обладнання із застосуванням BIM стає ключовим моментом для су-

часної нафтогазової індустрії, покликаним не лише підвищити ефективність, а й забезпечити якість обладнання та проведення робіт, довгострокову надійність та покращення економічних показників у справах буріння та видобутку енергоресурсів.

Проте інформаційна підтримка процесів ЖЦ бурильних установок не повинна обмежуватись застосуванням спеціалізованих BIM-технологій. Засоби і методи BIM обов'язково повинні бути доповнені іншими інформаційними ресурсами та інтегровані в інформаційну систему вищого рівня (PLM-систему).

Література / References

1. Bezkorovayniy V., Bayazitov V., Bobov D. Management of the Design and Construction of Offshore Oil and Gas Facilities with Bim Base. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng., 2018. 463. 042056. DOI: [10.1088/1757-899X/463/4/042056](https://doi.org/10.1088/1757-899X/463/4/042056).
2. Burova vezha. URL: https://www.wikiwand.com/uk/Бурова_вишка (date of access: 02.02.2024). [in Ukrainian]
3. Babaev S. G. Nadezhnost i dolgovechnost burovogo oborudovaniya. Moskva: Nedra, 1974. 184 p. [in Russian]
4. Bigliani R. Reducing Risk in Oil and Gas Operations. IDC Energy Insights, May 2013. #IDCW10V.
5. BIM in Oil and Gas. URL: <https://epcmholdings.com/building-information-modeling-in-oil-and-gas/> (date of access: 07.02.2024).
6. Rosendahl T., Egir A., Due-Sørensen L.K., Ulsund H.J. Integrated Operations: Change Management in the Norwegian Oil and Gas Industry. Beta, 2012. 26(1). P. 40-62. DOI: [10.18261/ISSN1504-3134-2012-01-03](https://doi.org/10.18261/ISSN1504-3134-2012-01-03).
7. Jiao Z., Zhao X., Li D., Sun Z., Li W. BIM-Based Optimization of Drilling Angle and Hole Position of Outside Corner Anchor Rods. Applied Sciences, 2023. 13(15). 9014. DOI: [10.3390/app13159014](https://doi.org/10.3390/app13159014).
8. PLM. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/PLM> (date of access: 15.02.2024).
9. Product lifecycle. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Product_lifecycle (date of access: 19.06.2024).
10. Building information modeling. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Building_information_modeling (date of access: 19.06.2024).
11. Discover how BIM is implemented in each step of the construction value chain. URL: <https://www.cemexventures.com/discover-how-bim-is-implemented-in-each-phase-of-the-construction-industry/> (date of access: 18.02.2024).

12. Kopei V., Onysko O., Barz C., Dašić P., Panchuk V. Designing a Multi-Agent PLM System for Threaded Connections Using the Principle of Isomorphism of Regularities of Complex Systems. *Machines*, 2023. Vol. 11(2). P. 263. DOI: [10.3390/machines11020263](https://doi.org/10.3390/machines11020263).
13. Autodesk Revit features. URL: <https://www.autodesk.com/products/revit/features> (date of access: 16.06.2024).
14. Going digital is the new normal in oil and gas Bentley systems. URL: <https://globuc.com/news/going-digital-is-the-new-normal-in-oil-gas-bentley-systems/> (date of access: 27.05.2024).
15. Applying 20 years reality capture oil and gas BIM 2014. URL: <https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/Applying-20-Years-Reality-Capture-Oil-and-Gas-BIM-2014> (date of access: 27.05.2024).
16. AVEVA E3D. URL: <https://www.aveva.com/en/products/e3d-design/> (date of access: 08.06.2024).
17. Tekla structures. URL: <https://www.tekla.com/products/tekla-structures> (date of access: 08.06.2024).
18. PLM Solution for Oil and Gas Owner/Operators. URL: https://www.plm.automation.siemens.com/classic/en_gb/energy-utilities/oil-gas/ (date of access: 27.05.2024).
19. Oil & Gas. Infrastructure, Energy & Materials – Dassault Systèmes®. URL: <https://www.3ds.com/industries/infrastructure-energy-materials/oil-gas> (date of access: 27.05.2024).
20. Windchill. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Windchill_\(програмне_забезпечення\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Windchill_(програмне_забезпечення)) (date of access: 27.05.2024).
21. AVEVA Product Management. URL: <https://www.aveva.com/en/products/production-management/> (date of access: 08.06.2024).
22. SAP PLM. URL: <https://www.sap.com/central-asia-caucasus/products/scm/plm-r-d-engineering.html> (date of access: 08.06.2024).
23. Discover Dynamo. URL: <https://dynamobim.org> (date of access: 17.06.2024).
24. Santos E. Building Information Modeling and Interoperability. SIGraDi 2009. *Proceedings of the 13th Congress of the Iberoamerican Society of Digital Graphics* (Sao Paulo, Brazil, November 16-18, 2009). Sao Paulo, 2009. URL: https://papers.cumincad.org/data/works/att/sigradi2009_1089.content.pdf
25. Interoperability. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Інтероперабельність> (date of access: 27.05.2024) [in Ukrainian]
26. Waqar A., Qureshi A.H., Alaloul W.S. Barriers to Building Information Modeling (BIM) Deployment in Small Construction Projects: Malaysian Construction Industry. *Sustainability*, 2023. 15(3). 2477. DOI: [10.3390/su15032477](https://doi.org/10.3390/su15032477).
27. Bringing BIM offshore. URL: <https://www.engineerlive.com/content/bringing-bim-offshore> (date of access: 30.05.2024).
28. Project oil platform Caspian sea. URL: <https://www.tekla.com/bim-awards/project-oil-platform-caspian-sea> (date of access: 18.02.2024).
29. Asad M.M., Hassan R.B., Sherwani F., Rind I.A., Maiji Y. Development of a novel safety and health educational management information system (HAZ-PRO) for oil and gas production operation: A proposed framework. *Journal of Engineering, Design and Technology*, 2020. Vol. 18(5). P. 959-971. DOI: [10.1108/JEDT-04-2019-0109](https://doi.org/10.1108/JEDT-04-2019-0109).
30. Tan Y., Song Y., Liu X., Wang X., Cheng J.C.P. A BIM-based framework for lift planning in topsides disassembly of offshore oil and gas platforms. *Automation in Construction*, 2017. 79. P. 19-30. DOI: [10.1016/j.autcon.2017.02.008](https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.02.008).
31. Technology and innovation. Shell Global. URL: <https://www.shell.com/what-we-do/technology-and-innovation.html> (date of access: 30.05.2024).
32. Digital technologies. ExxonMobil. URL: <https://corporate.exxonmobil.com/who-we-are/technology-and-collaborations/digital-technologies> (date of access: 30.05.2024).
33. Technology and Innovation. Chevron. URL: <https://www.chevron.com/what-we-do/technology-and-innovation> (date of access: 30.05.2024).
34. Oil and gas. What we do. Home. URL: <https://www.bp.com/en/global/corporate/what-we-do/oil-and-gas.html> (date of access: 30.05.2024).
35. Petroleum Products: Adapting to Demand. TotalEnergies.com. URL: <https://totalenergies.com/company/transforming/multi-energy-offer/petroleum-products> (date of access: 30.05.2024).
36. BIM Modeling in Oil and Gas. URL: <https://diaspherebim.com/service/building-information-modeling-in-oil-and-gas/> (date of access: 30.05.2024).