

УДК 621.165:681.518.5:65
DOI 10.47049/2226-1893-2025-1-69-79

АНАЛІЗ ПРОАКТИВНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТУРБОКОМПРЕСОРИВ

О.О. Сторчак

ст. викладач кафедри «Суднові енергетичні установки и технічна експлуатація»
starsat1080@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2179-5159

Одеський Національний Морський Університет, Одеса, Україна

Анотація. У цій статті проведено аналіз виконаних робіт по підвищенню надійності та технічної експлуатації турбокомпресорного обладнання. За допомогою проактивного методу стає доцільним використовувати результати досліджень, а також застосовувати опит придбаний за роки технічної експлуатації обладнання на інші одно типові установки в різних галузях. В статті показано вдалий приклад використання результатів дослідницької прикладної роботи на танкерах морського флоту у становленні технічної експлуатації турбокомпресорів Одеського припортового заводу. Результати впроваджені в процес технічної експлуатації та отримали подальший розвиток дослідницько-прикладного характеру. Досвід отриманий при технічній експлуатації турбокомпресорного обладнання можливо і потрібно переносити і реалізовувати знов на суднах турбоходах, а також в інших областях транспортної галузі. Описані в статті епізоди дозволяють підвищити надійність та довговічність технічної експлуатації судових головних турбін та турбоприводів.

Ключові слова: проактивний метод, технічне обслуговування, турбіна, компресорне обладнання, тепловий прогин, тепловий стан, вібраційний стан, центрування роторів, центрування корпусів, перехідні режими роботи.

УДК 621.165:681.518.5:65
DOI 10.47049/2226-1893-2025-1-69-79

ANALYSIS OF PROACTIVE MAINTENANCE OF TURBOCHARGERS

O. Storchak

Senior lecturer of the department «Marine Power Plants and Technical Operation»
starsat1080@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2179-5159

Odesa National Maritime University, Odesa, Ukraine

Abstract. *This article analyzes the work performed to improve the reliability and technical operation of turbocharger equipment. Using the proactive method, it becomes expedient to use the results of research, as well as to apply the experience acquired over the years of technical operation of the equipment to other similar installations in various industries. The article shows a successful example of using the results of research and application work on tankers of the marine fleet in the development of technical operation of turbochargers at the Odesa Port Plant. The results have been implemented in the process of technical operation and have been further developed in a research and applied manner. The experience gained during the technical operation of turbocharger equipment can and should be transferred and implemented again on turbo-propelled vessels, as well as in other areas of the transport industry. The episodes described in the article allow to increase the reliability and durability of the technical operation of ship main turbines and turbo drives.*

Keywords: *proactive method, maintenance, turbine, compressor equipment, thermal deflection, thermal condition, vibration condition, rotor alignment, casing alignment, transient operating conditions.*

Вступ. Підвищення показників ефективності, надійності, безпеки та інших техніко-економічних характеристик залишаються актуальними весь період технічної експлуатації турбомашин. Незважаючи на істотно нижчу значущість турбоустановок на флоті порівняно з двигунами внутрішнього згоряння, інтерес до них у судовласників може знову з'явитися, як це було в 2-й половині ХХ-го століття, через такі якості, як менша питома вага, компактність, надійність турбомашин. Зараз турбіни все ж використовують на сучасних суднах, як привід генераторних агрегатів, так і як головний двигун. Так, наприклад, встановлено головну парову турбіну AU400 фірми «Kawasaki Heavy Industries» і два турбогенератори основної судової електричної станції (СЕС) на судні «Maersk Qatar» [1; 2].

Фахівці Одеського національного морського університету (раніше ОШМФ) проводили дослідження теплового стану головних турбін на перехідних режимах на суднах типу «Ленінський комсомол», «Софія», «Крим». Було розроблено і виготовлено апаратуру як штатну для контролю вібрації і теплового стану головних турбін.

За допомогою цієї апаратури можна було виміряти на сталих і перехідних режимах такі параметри теплового і вібраційного стану головних парових турбін:

- температуру фланця горизонтального роз'єму турбіни високого тиску (ТВТ);
- різницю температур по ширині фланця горизонтального роз'єму ТВТ;
- різницю температур верх-низ корпусу, що характеризує тепловий прогин корпусу;
- відносне подовження роторів;
- тепловий прогин роторів;
- амплітуду вібрації роторів.

Аналіз зібраних даних, особливо на перехідних режимах, дав змогу розробити організаційні та технічні заходи, які дали можливість значно підвищити надійність ПТУ. Такою апаратурою було оснащено понад два десятки суден.

Це приклад того, який серйозний крок у той час було зроблено як проактивні заходи в удосконаленні технічної експлуатації судових турбомашин.

В установках з виробництва аміаку відцентрові компресори поз. 101J, 102J, 103J і 105J (рисунок) є одними з найвідповідальніших нерезервованих машин, що забезпечують ефективність і безпеку всієї установки.

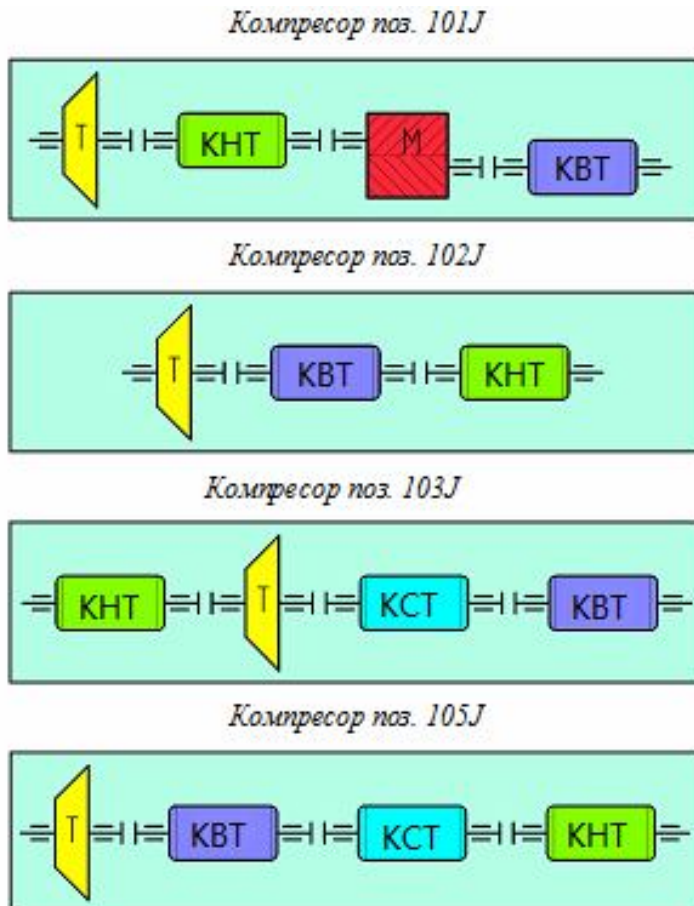


Рисунок. Схеми компонування компресорів:

T – парова турбіна, KHT - компресор низького тиску;

KCT – компресор середнього тиску;

KBT – компресор високого тиску;

M – мультиплікатор

Тому адміністрація цеху систематично приділяє велику увагу вдосконаленню технічної експлуатації, як цих компресорів, так і інших головних і допоміжних механізмів, з метою підвищення їхньої працездатності та ресурсу, а також унеможливлення непередбачених поломок і пошкоджень.

Компресори 101J є повітряними компресорами і приводяться в обертання паровою турбіною 101JT за схемою: турбіна – компресор низького тиску (КНТ) – мультиплікатор – компресор високого тиску (КВТ), з'єднаних між собою зубчастими муфтами, частина з яких була замінена пружними муфтами.

Компресори 102J природного газу приводяться в обертання від парової турбіни 102JT. Усі вали агрегатів у послідовності: турбіна – КВТ – КНТ – з'єднані зубчастими муфтами, частина з яких була замінена пружними муфтами.

Компресори 103J приводяться в обертання від парової турбіни 103JT і призначені для стиснення азотно-водневої суміші, у КВТ додатково розміщено і циркуляційний ступінь. Усі вали агрегатів у послідовності: КНТ – турбіна – КСТ – КВТ були з'єднані зубчастими муфтами і замінені пружними муфтами. Причому муфту КНТ-турбіна встановлювали у два етапи. Під час першого встановлення через те, що пружна муфта розв'язала жорсткий зв'язок зубчастою муфтою ротора КНТ і ротора турбіни, вібрація ротора КНТ зросла до неприйнятних значень через перевищення аеродинамічних сил, що порушують ротор, над силами штатних підшипників, що демпфують. Тому довелося встановити зубчасту. Тільки заміна штатних підшипників на високо демпферні в усьому діапазоні частот підшипники забезпечили можливість заміни зубчастої муфти на пружну.

Турбіна спочатку була активного типу, конденсаційна, багатоступенева з регульованим відбором пари. Надалі була перероблена на реактивний принцип дії.

Компресори 105J приводяться в обертання від парової турбіни 105JT і призначені для стиснення аміаку. Усі вали агрегатів у послідовності: турбіна – КВТ – КСТ – КНТ з'єднані зубчастими муфтами і пружними муфтами.

У процесі експлуатації турбокомпресорів послідовно впроваджувалися системи моніторингу та діагностики технічного стану обладнання. Так, нині успішно використовується сучасна система System-1 (раніше фірми Bently Nevada, а тепер General Electric).

Набула великого розвитку лабораторія неруйнівного контролю та вібродіагностики, придбані й активно використовуються сучасні вимірювальні прилади.

Постійний контроль вібраційного стану компресорів дав змогу перейти на обслуговування за фактичним технічним станом. Перевагою такого методу обслуговування є зниження обсягу ремонтних робіт за рахунок виключення ремонту бездефектних вузлів.

Згодом експлуатацію компресорного устаткування вже уявляють як реалізацію комбінованої стратегії, що об'єднує планово-профілактичне обслуговування, обслуговування за фактичним станом і проактивне обслуговування. Саме таку комплексну стратегію було реалізовано під час експлуатації турбокомпресора 103J [3].

Проактивне технічне обслуговування – підхід, спрямований на максимізацію терміну служби устаткування, забезпечення максимально можливої ефективності, надійності та безпеки завдяки модернізації вузлів і деталей, застосуванню нових сортів мастильних матеріалів, застосуванню сучасних технологій виявлення і придушення джерел відмов, удосконаленню технологій ремонту та навчанню персоналу.

У широкому сенсі слова проактивне обслуговування передбачає вдосконалення всіх складових системи технічного обслуговування від технічної документації, навчання персоналу, технологій ремонту до технічної експлуатації обладнання. Нижче як приклад показано розробки, виконані фахівцями кафедри СЕУ та ТЕ, Одеського припортового заводу і ТОВ «ТРИЗ» м. Суми, і спрямовані на підвищення ефективності всієї системи технічного обслуговування.

Мета та завдання статті. Метою цієї статті є показати практично, як отриманий досвід контролю стану турбомашин можливо розвивати і переносити в різних галузях і підприємствах на одне типове обладнання. Слід зберігати і розвивати далі методи і підходи починаючи від стадії проектування і закінчуючи питаннями технічної експлуатації протягом усього життєвого циклу установок.

Отриманий досвід і результати досліджень на суднах дали змогу продовжити подібні дослідження на стаціонарних турбокомпресорах у цеху виробництва аміаку Одеського припортового заводу. Парові турбіни цих компресорів за потужністю і параметрами пари аналогічні судновим. Технічне використання і технічне обслуговування машин у цеху здійснюється на високому рівні. Досвід технічної експлуатації машинної установки цеху цілком може бути надалі перенесений на судові установки.

Епізод 1. Однією з головних помилок операторів цеху під час пуску зазначених вище машин були ситуації, що допускали появу теплового прогину ротора в прогрітому стані без обертання валоповоротним пристроєм перед безпосереднім пуском турбіни. Це відбувалося через те, що недооцінювався оператором той факт, що завжди має місце різниця температур між верхньою і нижньою частинами корпусу турбіни (наприклад, у судових турбінах експериментально зафіксовано різницю температур від 10 °С до 15 °С), що і є причиною утворення теплового прогину ротора, особливо в прогрітому стані без використання валообертного пристрою.

Для подальшого усунення людського фактора під час пуску машин було організовано спеціальні навчальні заняття операторів цеху для ознайомлення з досвідом контрольованих пусків судових парових турбін, розроблених на кафедрі СЕУ і ТЕ Одеського національного морського університету. Доопрацьовано інструкції з пуску парових турбін цехів виробництва аміаку (ЦВрА).

Епізод 2. У компресорі поз. 101J двічі були поломки зубчастих муфт, розташованих між турбіною і КНТ, а також тріщини на роторі КНТ з боку цієї ж муфти. У результаті проведених досліджень термічних деформацій опор машини на перехідних режимах за допомогою сучасної лазерної системи «PERMOLING» виявилось, що ротори турбіни і КНТ за номінального режиму працювали з розцентруванням до 0,9 мм, за норми до 0,1 мм. Після коригування програми

центрування валів у холодному стані з урахуванням теплової деформації опор під час пуску компресорний агрегат став працювати з рівнем вібрації, що відповідає категорії вібраційного стану «добре» [4].

Епізод 3. Після модернізації турбіни поз. 103J (заміни ротора активного принципу дії на ротор реактивного принципу) робота машини весь період на номінальному режимі характеризувалася стійкою «хорошою» вібрацією.

Однак під час планового розкриття опорних підшипників було виявлено натири бабіту, тобто мало місце торкання з невідомої причини. Після системних досліджень вібраційного стану турбіни на різних режимах виявлено, що саме така несприятлива ситуація виявилася під час короткочасного режиму після закриття пари на турбіну під час зупинки. Особливістю цієї турбіни є те, що після звичайного вибігу ротора, починалося розкручування ротора у зворотному напрямку за рахунок зворотного струму стискуваного газу в компресорі високого тиску. Якщо вибіг із прямим обертанням відбувався швидко за 5 секунд внаслідок гальмування газом, то розкручування у зворотному напрямку і подальший остаточний вибіг тривав до 5 хв. За цей період обертання турбіни, що фактично не належить до природних процесів машини, мали місце резонансні коливання ротора з максимальною вібрацією ротора до 120 мкм за норми до 80 мкм, переміщення середнього положення осі ротора в розточці підшипника аж до дотику до бабіту. Одночасно відбулося натирання бабіту на неробочих сегментах упорного підшипника турбіни.

Проведені дослідження дали змогу дати пояснення причин появи підвищеної вібрації в такому короткочасному режимі, як зворотне розкручування, на який обслуговуючий персонал особливо й не звертав уваги.

Результати цього аналізу вібрації заслуговують на увагу для вжиття заходів щодо конструктивного вирішення питання про налаштування клапана на напірній ділянці стискуваного газу, з метою своєчасного його перекриття під час зупинки турбіни [5].

Епізод 4 . Тривалий час на опорних підшипниках КНТ компресора поз.103J з'являлися субгармонійні коливання ротора з амплітудою, що доходить до граничних значень. Після модернізації двох корпусів КСТ і КВТ рівні вібрації КНТ зросли через більше його навантаження. Міжремонтний пробіг КНД становив не більше ніж півроку.

Низький ККД компресора, циркуляційні сили призводять до високого аеродинамічного збудження роторів, що, в свою чергу, призводить до автоколивання роторів низького тиску. Під час експлуатації компресорів під час відхилення від номінальних режимів аеродинамічне навантаження зростає і штатна система демпфірування підшипники – плаваючі ущільнення не справляється з гасінням автоколивань. Спільними заходами зниження амплітуд автоколивань є антициркуляційні лабіринтові ущільнення міжсекційних і покривних дисків робочих коліс, а також застосування вузлів, що володіють високими демпферними властивостями, замість штатних п'ятиколових опорних підшипників і кінцевими плаваючими ущільненнями.

Виконавши аналіз незадовільної роботи корпусу низького тиску, проаналізувавши характер руйнувань вузлів, деталей і спектри вібрацій, було визначено такі причини:

- наявного штатного запасу демпфуючих сил, $\Sigma F_d / \Sigma F_v = 34400 / 26000 = 1,32$ (за даними розробника), недостатньо для роботи на режимі зупинки за блокуванням і на режимах як підвищеної (втрати потужності: $N_{кнт} = 3,41 \text{ Мвт}$), так і зниженої продуктивності (Мітсубіші МНІ рекомендує $\Sigma F_d / \Sigma F_v > 2$);

- руйнування викликані резонансними автоколиваннями, що виникли через збіг власної частоти коливальної системи, що дорівнює 1-й критичній частоті ротора, з частотою збурювальних аеродинамічних сил;

- силами, що обурюють, є: низькочастотні аеродинамічні сили, що виникли у зв'язку з роботою компресора на підвищеній продуктивності через неузгодженість проточної частини корпусу КНТ, які посилюються аеродинамічними циркуляційними силами в міжсекційному та покривних лабіринтових ущільненнях робочих коліс, а також аеродинамічні сили, що виникають через розбіжності каналів робочих коліс і каналів кільцевих дифузорів;

- втрата стійкості й автоколивання ротора на частоті, близькій до першої критичної, під дією аеродинамічних циркуляційних сил, оскільки виконується умова

$$n_p > 2n_{1кр},$$

де n_p – робоча частота обертання ротора.

Встановивши причини нестійкої роботи КНТ для усунення їх необхідно:

- знизити збуджувальні аеродинамічні сили через неузгодженість характеристик КНТ і необхідного технологічного режиму (застосування змінної проточної частини);

- знизити збуджувальні аеродинамічні сили через зміщення каналів робочих коліс і каналів кільцевих дифузорів;

- усунути циркуляційні сили;

- збільшити демпфувальні сили;

- збільшити жорсткість опорних і ущільнювальних вузлів;

- збільшити жорсткість ротора.

Для збільшення міжремонтного пробігу на першому етапі була проведена тільки заміна штатних п'ятиколодкових підшипників ковзання на триколодкові демпферні підшипники, здатні не тільки протистояти виникненню автоколивань, а й активно гасити вібрацію, яка виникає, в усьому діапазоні частот. Така заміна збільшила міжремонтний пробіг до року. Подальша модернізація КНТ із заміною штатних вузлів і елементів таких, як лабіринтові ущільнення, кінцеві (плаваючі) ущільнення, ротора з використанням штатних робочих коліс і зменшенням міжопорної відстані, встановлення додаткового демпфера забезпечило дворічний пробіг. У подальшому, як правило, ремонт зводився за результатами моніторингу до ревізії вузлів підшипника і плаваючих ущільнень.

Епізод 5. У 2004-2005 рр. за результатами аналізу роботи турбіни 103JT було зроблено висновок, що турбіна не набирає проектної потужності, для досягнення якої не вистачає приблизно 40-50 т/год пари.

Встановлене обмеження відкриття клапана № 4, імовірно, пов'язане з проектними особливостями експлуатації турбіни як приводу електричного генератора.

Під час розгляду фірмового креслення соплових клапанів високого тиску турбіни 103J з'ясувалося, що на діаграмі відкриття соплових клапанів зображено відкриття клапана № 4 на величину 10,7 мм. Пунктирною лінією представлено можливе відкриття ще на 6,7 мм.

У разі раптового навантаження в електричному ланцюзі для підтримання постійної частоти обертання передбачено приблизно 10 % запасу потужності і відповідно додаткове відкриття клапана № 4 ще на 6,7 мм. таким чином, повна величина відкриття клапана №4 можлива до значення 17,5 мм.

У результаті розрахунків було підтверджено правильність висновків. Оскільки турбіна працює за постійного навантаження, клапан № 4 можна тримати повністю відкритим для отримання максимальної продуктивності компресорів. При скиданні навантаження система регулювання буде спрацьовувати тільки на закриття соплових клапанів.

При цьому необхідно дотримуватися вимог фірмової інструкції щодо максимального тиску пари в регульовальному ступені турбіни.

У результаті технічних розрахунків і аналізу технічної документації вдалося без зміни конструкції турбоагрегату підвищити потужність установки на 10 %, що дало помітний результат у продуктивності.

Епізод 6. Під час експлуатації зубчастих муфт 101JT-КНТ і 103JT-КНТ за температурними і вібраційними показниками було встановлено, що умови змащення зубів напівмуфт незадовільні. Більша частина змащення відбувалася в умовах масляного туману і не надходила в достатній мірі для змащення пари контакту «зуб-зуб».

За результатами розрахунків було ухвалено рішення про модернізацію зубчастих муфт зазначених агрегатів. Для цього запропоновано заглушити всі наявні в коронці зливні отвори, встановивши в них різьбові пробки зі сталі 20X13 однакової довжини, при цьому тільки у двох діаметрально протилежних пробках виконати отвори. Усі пробки після закручування зачеканити по колу металом коронки.

Щоб забезпечити для зубів муфти створення масляної кругової ванни, необхідно з цієї кругової ванни, в якій перебуватимуть бічні робочі (контактуючі) поверхні зубів, одна половина мастила, яке надійшло до муфти, після відпрацювання буде йти через два зливних отвори коронки. Інша половина оливи - переливатиметься через обмежувальне кільце на вихід у кожух муфти. Стик в обмежувальному кільці має бути не більше 3 мм і розташовувати його необхідно навпроти зуба коронки.

Виконана робота дала змогу зменшити знос зубчастих муфт і, відповідно, продовжити термін їх експлуатації. Практика експлуатації зубчастих муфт підтвердила доцільність їхньої заміни на пружно-пластинчасті муфти, які не потребують змащення, а реактивні сили на порядок менші, ніж у зубчастих передачах.

Насамкінець слід зазначити, що за останні 20 років у цеху виробництва аміаку ОПЗ було виконано серйозні роботи з модернізації обладнання, спрямовані на технічне обслуговування, орієнтоване на надійність і збільшення міжремонтного інтервалу.

Висновки. Проактивний принцип організації процесу технічного обслуговування і ремонту ОПЗ, так само як і у світовій практиці, використовує лише для критичного устаткування, поломка якого може призвести до простою установки і завдати великих збитків [6; 7; 8], а в житті доводиться використовувати різні принципи організації процесу технічного обслуговування і ремонту для різних типів обладнання.

Проактивне обслуговування [9; 10], засноване насамперед на великому досвіді підприємства, спрямоване на виявлення шкідливих виробничих факторів, їх усунення, і як результат, максимальне збільшення міжремонтного пробігу обладнання.

Отриманий досвід можна переносити на інші, схожі технологічні об'єкти, а так само в судноплавних компаніях, застосовуючи вже перевірені методи, технології та підходи для швидкого вирішення технічних завдань, побудови оптимального технологічного процесу, підвищення надійності експлуатації механізмів і систем, а також можливість забезпечення контролю протягом усього життєвого циклу технічного об'єкта.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Main turbines and ancillaries. Ship Maersk Qatar (IMO number: 9321732). Machinery operating manual. Section 3.4.1, pages 2 of 9.
2. Makoto Ito, Kazuyoshi Hiraoka, Shoichs Matsumoto, et al. Development of High Efficiency Marine Propulsion Plant (Ultra Steam Turbine). *Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Technical Review*, 2007 Vol. 44 no. 3. URL: <https://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/e443/e443015.pdf> (дата звернення 24.12.2024).
3. Соломатин С.Я., Краевский В.Н., Черкащенко А.С. Проактивное обслуживание турбин 103JT аммиачного производства ОПЗ// Компрессорная техника и пневматика, 2014, № 7. С. 14-19.
4. Соломатин С.Я., Сторчак А.А. Определение величины исходной расцентровки валов центробежного компрессора с учетом неравномерных тепловых деформаций опор, Вестник ОНМУ № 16, 2005.
5. Соломатин С.Я., Краевский В.Н. Особенности вибрационного состояния центробежного компрессора при останове// Компрессорная техника и пневматика. 2012. № 1. С. 12-16.

6. IT-Enterprise. Методології управління. Predictive Maintenance URL: <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/pdm> (дата звернення 24.12.2024).
7. Visure Solutions, Inc. Що таке технічне обслуговування, орієнтоване на надійність (RCM)? URL: <https://visuresolutions.com/uk/Керівництво-fmea-з-управління-ризиками/обслуговування,-орієнтоване-на-надійність/> (дата звернення 24.12.2024).
8. R.P. Sinha, Wan Mohd Norsani Wan Nik Investigation of propulsion system for large LNG ships *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 36 (2012) [in English] doi:10.1088/1757-899X/36/1/012004.
9. E.C. Fitch Proactive Maintenance for Mechanical Systems Випуск 5 з серії Dr. E.C. Fitch technology transfer series, Elsevier, 2013.
10. Canito, A. et al. An Architecture for Proactive Maintenance in the Machinery Industry. *Ambient Intelligence– Software and Applications – 8th International Symposium on Ambient Intelligence (ISAmI 2017). ISAmI 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol 615. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-61118-1_31.

REFERENCES

1. Main turbines and ancillaries. Ship Maersk Qatar (IMO number: 9321732). Machinery operating manual. Section 3.4.1, pages 2 of 9 [in English].
2. Makoto Ito, Kazuyoshi Hiraoka, Shoichs Matsumoto, et al. (2007) Development of High Efficiency Marine Propulsion Plant (Ultra Steam Turbine). *Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. Technical Review. Vol. 44 no. 3* Available at: <https://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/e443/e443015.pdf> (accessed 24 December 2024) [in English].
3. Solomatin S.Ja., Kraevskij V.N., Cherkashhenko A.S. (2014) Proaktivnoe obsluzhivanie turbin 103JT ammiachnogo proizvodstva OPZ // Kompresornaja tehnika i pnevmatika [Proactive maintenance of 103JT turbines of Odessa Portside Plant ammonia production // Compressor Technique and Pneumatics], no. 7, P. 14-19 [in Russian].
4. Solomatin S.Ya., Storchak A.A. (2005) Opredelenie velichiny ishodnoj rascentrovki valov centrobezhnogo kompressora s uchetom neravnomernyh teplovyh deformacij opor [Determination of the initial misalignment value of centrifugal compressor shafts taking into account non-uniform thermal deformations of supports], Vestnik ONMU no.16. [in Russian]
5. Solomatin S.Ia., Kraevskii V.N., Kuz'min K.A. (2012) Osobennosti vibratsionnogo sostoianiiia tsen-trobezhnogo kompressora pri ostanove [Peculiarities of vibrational state of centrifugal compressor while stopping]. Kompresornaia tekhnika i pnevmatika, no. 1, P. 12-16. [in Russian].

6. IT-Enterprise (2024). Metodolohii upravlinnia. Predictive Maintenance [Management methodologies. Predictive Maintenance] Retrieved from: <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/pdm> (accessed 24 December 2024) [in Ukrainian].
7. Visure Solutions, Inc (2024). What is Reliability-Centered Maintenance (RCM)? Retrieved from: <https://visuresolutions.com/uk/Керівництво-fmea-з-управління-ризиками/обслуговування,-орієнтоване-на-надійність/> (accessed 24 December 2024) [in Ukrainian].
8. R.P. Sinha, Wan Mohd Norsani Wan Nik (2012) Investigation of propulsion system for large LNG ships *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 36 <https://doi.org/10.1088/1757-899X/36/1/012004> [in English].
9. E.C. Fitch (2013) Proactive maintenance of mechanical systems, Issue 5 of the Dr. E.C. Fitch Technology Transfer Series, Elsevier. [in English].
10. Canito, A. et al. (2017). An Architecture for Proactive Maintenance in the Machinery Industry. *Ambient Intelligence – Software and Applications – 8th International Symposium on Ambient Intelligence (ISAmI 2017). ISAmI 2017. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 615. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-61118-1_31. [in English].

Стаття надійшла до редакції 24.12.2024

Посилання на статтю: Сторчак О.О. Аналіз проактивного обслуговування турбокомпресорів // *Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць*, 2025. № 1 (75). С. 69-79. DOI 10.47049/2226-1893-2025-1-69-79.

Article received 24.12.2024

Reference a journal artic: Storchak O. Analysis of proactive maintenance of turbochargers // *Herald of the Odesa national maritime university: Coll. scient. works*, 2025. № 1 (75). P. 69-79. DOI 10.47049/2226-1893-2025-1-69-79.