

ANALYSIS OF MACHINERY MAINTENANCE AND INDUSTRY 4.0¹²

Eng. Kaloyan Nikolaev, PhD student

Department of Repair, Reliability, Mechanisms, Machines, Logistics and Chemical Technologies

University of Ruse “Angel Kanchev”, Bulgaria

Tel.: +359 82 888 458


E-mail: dbekana@uni-ruse.bg

Abstract: Nowadays there is a specific change undergoing in the development of industrial equipment. This change was dictated by the fourth industrial revolution called INDUSTRY 4.0. This article analyses INDUSTRY 4.0 and Maintenance of Machinery. The peculiarities of the new generations of machines and their connection with the modern development trend are given.

Keywords: Maintenance, E-Maintenance, Industry 4.0, Cyber Physical Systems, Internet of Things, System of Systems, Smart Products.

ВЪВЕДЕНИЕ

Развитието на техниката се обяснява в четири нива и е познато като Индустрия 4.0. През вековете са извършени три значителни индустриални революции (фиг. 1). През 1760 г. стартира процесът на преминаване от ръчна работа към машини задвижвани с водна и парна енергия в производството. Промислеността, която се появява в този период включва: текстилна, химическа, металургична и циментена (Bekana D. 2020, Ruben Ravnå Per Schjøberg 2016).

			Четвъртата индустриална революция: системи за производство на базата на кибер – физически системи и IoT; SoS; RFID; GPS GSM; NFC	Сложност ▲
		Първия програмируем логически контролер (PLC) „Modicon 084” 1969	Трета индустриална революция: използване на електроника и ИТ за постигане на по – голяма автоматизация в производството	
	Първа производствена линия 1870	Втора индустриална революция Началото на използването на електро енергия за производство и масова продукция с разпределение на труда		
Първата машина - тъкачен стан, 1784	Първа индустриална революция въвеждането на машини за производство с водна и парна енергия		Години ▶	
Края на 18 век	Начало на 20 век	Начало на 1970	Нашите дни	

Фиг. 1. Четирите нива на индустриалната революция. (Kagermann H. et. al. 2013).

¹² Докладът е представен на онлайн сесията на секция „Ремонт и надеждност“ на 29 октомври 2021 г. с оригинално заглавие на български език: АНАЛИЗ НА ПОДДРЪЖАНЕТО НА МАШИНИТЕ И ИНДУСТРИЯ 4.0

Втората индустриална революция, наричана още технологична революция, започва през около 1850 г. Създадени са няколко технологии, които ще улеснят масовото производство, като се започне с по-добри производствени процеси за производство на стомана както за изделия, така и за производствено оборудване. Първата производствена линия е използвана в американска кланица през 1870 г., но концепцията е приета скоро след това и в други области например в автомобилостроенето.

От около 1970 г. започва третата индустриална революция, наричана още дигитална революция. От момента на създаването на транзистора технологията става все по-важна за индустрията. Това води до автоматизирани производствени линии и преработваща промишленост, контролирани предимно от цифрови технологии (Bekana D. 2020, Lee J, Ni J 2006).

Този въпрос се разглежда по подобен начин от други автори като (Moubray, 1997), които го разглеждат от гледна точка състоянието на машините и тяхното износване, т.е. надеждност от където излиза и поддържане според надеждността познато като RCM (Moubray J. 2001).

Целта на настоящата работа е да се анализира развитието на поддържането на машините през различните етапи на развитие на индустрията.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Историците идентифицират всяка от тези революции дълго след като се наблюдава тяхното въздействие и влияние върху индустрията и обществото. Въпреки това през 2013 г. визията за следващата индустриална революция е представена и наречена „INDUSTRIE 4.0“ (Kagermann H. et al. 2013; Николов М. 2019). Това е много подходящо предвид големия напредък в последните технологии и техния потенциал за подобряване на производствената среда. Без свръх естествени способности, които да предвидят какво означава революция в индустрията за бъдещето, това все още е визия, която предоставя пътна карта за развитие. Голяма част от информацията тук се основава на скорошен преглед на публикациите относно влиянието от Индустрия 4.0 (Ruben Ravnå Per Schjøberg 2016).

Тази индустриална революция се забелязва в Германия, където правителството събира работна група с намерението да формулира следващите стъпки към бъдещето за автоматизация на промишлеността. Резултатът е INDUSTRY 4.0, която описва прехода към „интелигентна индустрия“ (Smart Production). За да се постигне това, в крайна сметка цялата верига за доставки е достъпна и контролируема чрез интернет. Това се отнася за събиране на данни от датчици за всяка отделна машина, както и за комуникация с външната среда така и с други съоръжения в съответната промишленост. Приложните техники за изпълнение се обсъждат и прототипират в академичната общност. Единственото договорено е, че преходът трябва да бъде адаптиран към всяко отделно предприятие и партньор. Въпреки това има ключови елементи, които трябва да бъдат включени при всеки преход към промишлеността на бъдещето.

Германското правителство и академични среди играят водеща роля в формулирането на визията за Индустрия 4.0 с препоръчани действия в подкрепа на прехода. Тази водеща роля се изразява в определянето на бъдещата промишленост (Kagermann H. et al. 2013).



Фиг. 2. Пример за Кибер-физически системи (CPS) на индустриален робот – рамо (Greer Ch. et al. 2019)

В бъдеще предприятията ще създадат глобални мрежи, които включват своите машини, системи за складиране и производствени съоръжения под формата на *Кибер-физически системи* (Cyber-Physical Systems “CPS”) (Greer Ch. et. al. 2019). В производствената среда тези Кибер-физически системи включват *интелигентни машини*, производствени съоръжения и системи за съхранение, способни да обменят автоматично информация, да задействат дейности и да се контролират независимо едни от други. Това улеснява фундаменталните подобрения в индустриалните процеси, свързани с производството, инженеринга, поддържането, използването на материали и веригата на доставки и управлението на жизнения цикъл. **Интелигентните промишлености**, които вече започват да се появяват, използват изцяло нов подход към производството. **Интелигентните изделия** са уникално разпознаваеми, могат да бъдат разпознавани по всяко време и съхраняват собствената си история, текущо състояние и алтернативни маршрути за постигане на целевото им състояние.

Основните компоненти на индустрия 4.0. са: Кибер-физически системи (CPS); Интернет на нещата (IoT) и Интернет на услугите (IoS).

За да се въведе ИНДУСТРИЯ 4.0 във веригата на ценностите, има някои концепции, които са от съществено значение за прехода който ще се получи. Нейното приложение е силно зависимо от областта и средата. Кратко описание на тези ключови компоненти е дадено в следващите точки, както е описано в литературата (Ruben Ravnå Per Schjøberg 2016).



Фиг. 3. Индустрия 4.0 и Интелигентни заводи като част от Интернет на нещата и Интернет на услугите

Кибер-физически системи (CPS) е обект при което сътрудничество между компютърна система и физическо изделие се осъществява чрез интернет на нещата (фиг. 2). Компютърната система контролира машината и в замяна получава данни от сензора или друг предавател от управлявания обект. Обменът на информация между обектите е опростен посредством интернет на нещата (IoT).

Интернет на нещата (IoT) обхваща идеята, че дори и най-малкият обект трябва да има мрежи, които позволяват изпращането и получаването на данни по интернет. Въвеждането на IPv6 протокол (Deering S., R. Hinden July 2017, Greer Ch., et al. 2011) в средата на 1990 г. дава възможност за „безкраен“ брой устройства, които да бъдат свързани към интернет. Това е от значение за промишлеността, тъй като много повече и по-малки единици могат да бъдат вградени в компонентите на производствените системи. Това осигурява предимства на достъпността, предоставящи на системите достъп до нови видове данни. Тези данни са свързани не само с производствения поток, но и с информация за околната среда по време на производството. Следователно това дава възможност за по – бърза връзка и улеснение за създаване на нов бизнес, т.е. услуги от които произлиза Интернет на услугите (IoS). Това нововъведение е от значителна важност за новото поколение стратегия на поддържането.

Онлайн прогнозите за времето от известни метеоролози са само един пример за Интернет на услугите (Internet of Service - IoS), предоставяна чрез интернет. Идеята, която стои зад „Интернет на услугите“ е, че една система трябва да може да излиза онлайн, за да използва услуги, полезни в нейната област. Това изисква услугите да бъдат разработени с акцент върху оперативната съвместимост, т.е. услугата да е структурирана по начин, който лесно да бъде използван от други системи. Тя също така изисква услугите да са отворени за всички или поне да са създадени със система за достъп, която позволява на квалифицирани потребители да ги използват. Накратко, Интернет на услугите (IoS) и Интернет на нещата (IoT) са две основни концепции, които трябва да се прилагат в промишлеността като предпоставка за интелигентните предприятия на бъдещето (фиг. 3) (Kagermann H. et al. 2013).

КИБЕР-ФИЗИЧЕСКИ СИСТЕМИ И ПОДДЪРЖАНЕ НА МАШИНИТЕ Четвъртата индустриалната революция (ИНДУСТРИЯ 4.0)

Изминалите три индустриални революции са били предизвикани от техническите иновации (Brettel et al., 2014). В края на 18 век първите машини задвижвани с водна и парна енергия поставят началото на първата индустриална революция. В края на 19 век, възходът на електрическата енергия е трамплинът на втората индустриална революция и през 1870 г. в производствената линия е използвана първата монтажна линия. В средата на 20 век електрониката и информационните технологии се разширяват, което създава третата индустриална революция. Що се отнася до четвъртата индустриална революция, тя е предизвикана от използването на кибер-физически системи (Cyber Physical Systems – CPS), което дава възможност информацията от всички перспективи да бъде внимателно наблюдавана и синхронизирана между физическата линия на производството и кибер-изчислителното пространство. Терминът „Индустрия 4.0“ е въведен от правителството на Германия след почти 20-годишни практики на използване на CPS в преработващата промишленост.

Таблица 1. Научни изследвания свързани с Индустрия 4.0

№	Изследвания	Подразделения	Брой	
1.	Индивидуализиране на изделията	1.1.	Теория на масовото обслужване	65
		1.2.	Модулиране	39
		1.3.	FMS и RMS	146
		1.4.	Разпространение и контрол	41
		1.5.	Само оптимизация	20
		1.6.	Бързо производство	13
		1.7.	Облачни ИТ	6
2.	Хоризонтална интеграция на свързаните мрежи	2.1.	Свързани мрежи	106
		2.2.	Разпределено производство	40
		2.3.	Гъвкави вериги за снабдяване	46
		2.4.	Прозрачност на веригите за снабдяване	40
		2.5.	Интернет на нещата при услугите	36
3.	Цифровизация от край до край	3.1.	Виртуализация на индустрията	69
		3.2.	Индивидуални проследими данни	31
		3.3.	Операционна система в реално време	22
		3.4.	Симулация и моделиране на изделията и процесите	64
		3.5.	Едновременно планиране на изделията и процесите за производството	14
		3.6.	Услуги с добавена ценност	9

В наши дни германската индустрия трябва да издържи на нарастващата глобална конкуренция за качеството и разходите на продуктите (Brettel et al., 2014). Следователно Индустрия 4.0 се появява, тъй като времето изисква и се смята, че е в състояние да укрепи германската икономика, да засили международното сътрудничество и да създаде нови пазари,

базирани на интернет (MacDougall, 2014). Според допълнителните изследвания на професор Kagermann (Kagermann et al. 2013 г.) стратегията на Индустрията 4.0 ще позволи на Германия да остане глобално конкурентна страна с високи заплати. Въпреки че думата „Industry 4.0“ често се използва за описване на промените в индустрията, тя все още се използва в различен контекст и няма изрично определение (Brettel et al., 2014). Например, няколко дефиниции на „Индустрия 4.0“ в съществуващата литература са илюстрирани, както следва:

„Индустрия 4.0 е резолюция на страните с висока заплата за облекчаване на напрежението между икономии от мащаба и обхвата, както и планиране и ценностна ориентация“ (Brettel et al., 2014);

„Ядрото на концепцията на Industry 4.0 е същото като децентрализираната концепция чрез интелигентната система и CPS за постигане на интелигентно производство, зелено производство и градско производство.“ (Yen et al., 2014);

„Целта на INDUSTRY 4.0 е появата на дигитализация на промишлеността, което трябва да се характеризират със следните характеристики: интелигентни мрежи, мобилност, гъвкавост, интеграция на клиентите и нови иновативни бизнес модели.“ (Jazdi, 2014).

„Основната идея на Industry 4.0 е да се използва при нововъзникващите информационни технологии за внедряване на IoT и услуги, така че бизнес процесите и инженерните процеси да са дълбоко интегрирани, което прави производството да работи по гъвкав, ефективен и екологичен с постоянно високо качество и нисък разход.“ (Wang et al., 2016)

Тази доста хаотична ситуация е илюстрирана от клъстерния анализ, направен от (Brettel et al. 2014) в статията си, която представя свързани изследователски потоци на Industry 4.0 (Табл. 1). За изследователите се твърди, че повече от 20 теми са включени в четвъртата индустриална революция и при всеки поток са цитирани множество статии.

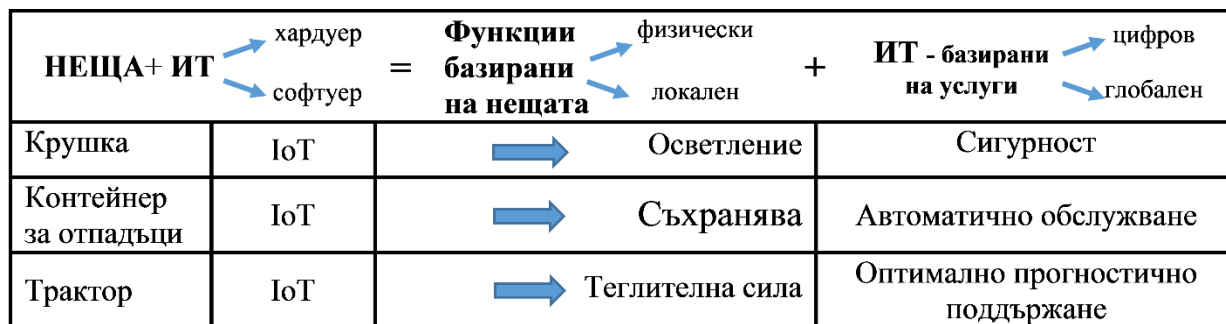
ИНТЕРНЕТ НА НЕЩАТА И УСЛУГИТЕ

В последните години се наблюдава разпространението на феномена Интернет на нещата (IoT) във всички сфери на науката. През 2012 г. International Telecommunication Union (ITU) дава определение за IoT по следния начин, глобална инфраструктура която свързва нещата (физическите обекти с виртуалните) на основата на съществуващи и еволюиращи, взаимодействащи информационни и комуникационни технологии. Най-известните области на приложение за IoT технологии включват **интелигентната индустрия**, където развитието на **интелигентни производствени системи** и свързани производствени мощности, често се обсъжда под заглавието Индустрия 4.0 (Wortmann & Fluchter, 2015). За улеснение е илюстрирано фиг. 4, създаването на ценност на IoT за подобряване на основните физически функции на дадено изделие, базирани на нещата, с помощта на допълнителни цифрови услуги, чрез използването на информационни технологии (ИТ), които могат да бъдат достъпни на глобално ниво (Fleisch et al., 2014).

Например, основната физическа функция на крушката като изделие е да осигурява светлина на определено разположение. Възможната ИТ-базирана услуга може да служи като система за сигурност, която може да открие човешко присъствие и да промени съответно режима на осветление. С други думи, ИТ-базираните цифрови функции позволяват даден продукт да бъде интелигентен и дистанционно управляван според изискванията на потребителите. Освен това функциите на отделните продукти могат да бъдат допълнително подобрени чрез свързване със сродни продукти и цялата продуктова система (Wortmann & Fluchter, 2015).

Освен това, както се твърди от (Porter & Heppelmann 2014), чрез IoT технологии, комбинацията от предишни различни системи от изделия може да доведе до системи от системи (SoS), които могат да разширят съществуващите индустриални граници и да променят динамиката и конкурентността на дадените предприятия.

Прилагането на интернет на нещата не отменя нуждата от интегрирането на редица информационни и комуникационни технологии в формата на хардуер и софтуер (Wortmann & Fluchter, 2015). Такива изисквания са в съответствие с тенденцията за развитие на Индустрия 4.0 за реализиране на интеграция между мрежите чрез по-добър информационен поток.



Фиг. 4. IoT – изделия – логистика на услугите

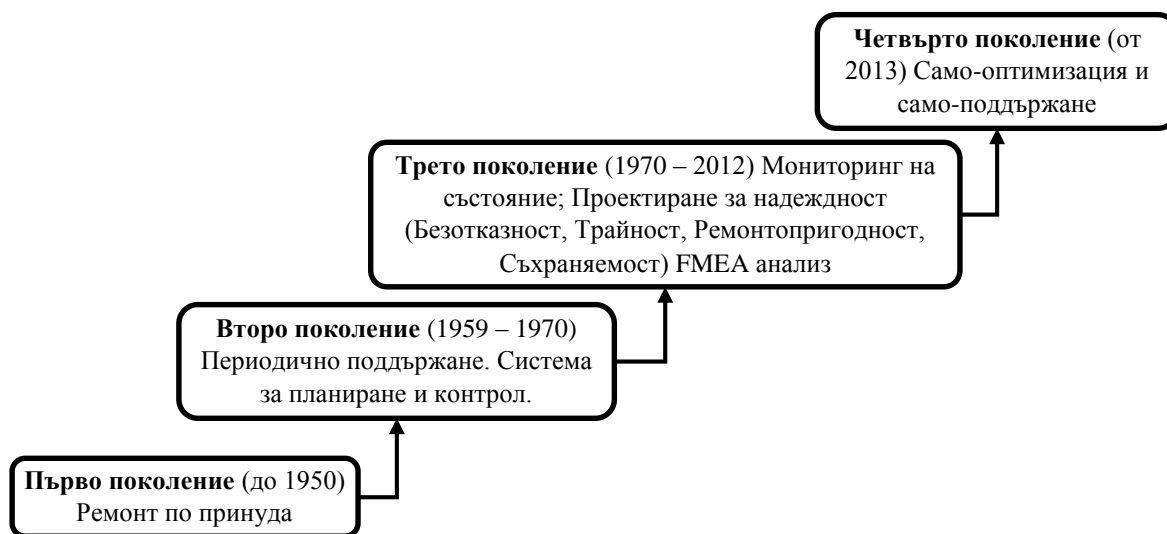
ПОДДЪРЖАНЕ НА МАШИНИТЕ

През последните десетилетия глобалният пазар е свидетел на нарастващ натиск от страна на клиенти и конкуренти които са производителите по целия свят (Basu, 2001; George, 2002). С напредването на глобализацията вниманието е изместено от реализиране на икономии от мащаба и увеличаване на обема на производството към удовлетворяване на изискванията на клиентите по отношение на различни цели на изпълнението, т.е. гъвкавост, надеждност, цена и пр. (Yamashina, 1995). Тази тенденция е довела до разработването и прилагането на усъвършенствани производствени стратегии като Just-In-Time (Suito, 1998). Въпреки това, ненадеждното или негъвкаво оборудване често възпрепятства прилагането на тези концепции и ограничава ползите от тези стратегии (Tajiri and Gotoh, 1992). Както се твърди от (Gits 1992), поддържането може да се дефинира като „всички дейности, насочени към запазване или възстановяване на дадено съоръжение във изправно състояние, необходимо за изпълнение на производствена функция в добро функционално състояние“. По този начин въздействието на поддържането върху производителността и рентабилността са се увеличили значително ефективността, които са два от най-важните аспекти на бизнес (Alsyouf, 2007). Заедно с такъв преход, компаниите се стремят да подобрят състоянията на оборудванията и да получат по-безопасна, по-стабилна и по-устойчива среда, като използват по-добри стратегии за управление на активите (J. Lee, 2015).

Според (Ahuja & Khamba 2008) съществуват примери в миналото които показват, че не адекватността на практиките за поддържането на техниката е повлияла неблагоприятно на организационната конкурентоспособност чрез намаляване на надеждността на производствените съоръжения, което води до бързо влошаване на тяхното техническо състояние, намаляване на готовността на оборудването и т.н. Лошо поддържаното оборудване може да доведе до по-чести откази, ниска надеждност и забавени производствени графици (Swanson, 2001). По този начин ефективността и ефикасността на функцията за поддържане значително допринася за цялостното бизнес представяне на производителя (Macaulay, 1988; Teresko, 1992).

Ролята на поддържането при използването на машините: Въпреки че значението на процеса на поддържането за производството е извън всякакво съмнение, той обикновено е бил считан като „необходимо зло“ от собствениците на организации в миналото (Alsyouf, 2007). Поддържането е средата за контрола на режийните разходи, включително разходите за работна ръка, резервни части, материали, инструменти и др. (Pintelon and Gelders, 1992; Foster and Van Tran, 1990). Разбира се, както (Cross 1988) твърди, разходите за поддържане представляват 12 до 23 процента от общите разходи в производствената индустрия на Великобритания. Освен това е установено, че в рафинериите отделите за поддържането и експлоатация често са най-големите, като всеки от тях е съставен от около една трета от целия персонал (Dekker, 1996). Заедно с тези цифри, повечето операции и дейности на поддържането на машините са непреки върху производителността, затова има твърдение, че поддържането има по-ниска норма на възвръщаемост от която и да е друга основна бюджетна позиция (Ahuja и Khamba, 2008). По този начин, въпреки неоспоримия принос на поддържането към цялостната производителност, тя се счита за неизбежен център на разходите от повечето производители.

Управлението на поддържането, което преди е било отделна част от производството, преминава през четири поколения през последните няколко десетилетия (Singh et al., 2014). Характеристиките на четирите поколения, през които е преминало управлението на поддържането, са представени на фиг. 5.



Фиг. 5. Четирите поколения поддържане на техниката

През 50-те години за поддържането е било прието да се извършват дейности които възстановяват работоспособността на оборудването когато настъпи отказ (поддържане при нужда). Планираният основен ремонт и планирането на поддържането са били определени като характер на второто поколение. След това, през третото поколение, са измислени и разработени различни концепции за поддържане като CBM, PM, RCM. И накрая, четвъртото поколение управление на поддържане стартира от 2012 г. по същото време, когато е въведен терминът ИНДУСТРИЯ 4.0. Системите за самоподдържане с нулево време за престой, само поддържащи се и само възстановяващи характеристики се предвиждат да бъдат във фокуса на четвъртото поколение (Singh et al., 2014). През последното десетилетие надеждността при производствено оборудване се разглежда като основен фактор за цялостното представяне на дадена компания, особено в нарастващите етапи на прилагане на модерни производствени технологии (Maggard и Rhyne, 1992). Изследователите подчертават дълбокото въздействие на функцията за поддържане върху изпълнение на целите, т.е. производителност и рентабилност (Al-Najjar, 2000; Al-Najjar et al., 2001, Carter, R. A. 2001, Al-Najjar и Alsyouf, 2004).

Таблица 2. Цели на изпълнението и Мениджмънт на тоталното качество (TQM)

Цел на изпълнението	Резултат от използването на Тотално качество в поддържането (Total Productive Maintenance TPM)
Обем на производството	Намаляване на внезапните откази
	Повишаване техническата готовност
	Повишаване на актуалното работно време
Качество	Намаляване въпроси свързани с нестабилно производство
	Намаляване на дефектите поради неефективно поддържане
Разход	Намаляване на разхода за ЖЦИ
	Намаляване на замърсяването при поддържането
Безопасност	Подобрена работна среда
	Нулева трудова злополука
Доставка	Подкрепа на усилията за използване стратегията точно навреме (JIT) с надеждно оборудване
	Повишаване ефективността на доставките с повишаване на надеждността

Например, според (Ahuja и Khamba 2008), прилагането на Total Productive Management (TPM) т.е. тоталното качество при поддържането улеснява постигането на различни организационни цели, както е показано в Табл. 2.

Следователно поддържането на оборудването постепенно се разглежда като незаменима функция в производственото предприятие (Ahmed, 2013). Ролята на функцията за поддържането е изместена от непредсказуем и неизбежен център на разходите към център на печалба, който повишава конкурентоспособността на компанията. Освен това, тъй като производствената среда става все по-сложна, производителите осъзнават, че управлението на поддържането трябва да се разглежда на стратегическо ниво (Yoshida et al., 1990). (Kumar 2004) отива по-далеч и твърди, че за да се увеличи максимално приносът на поддържането към производителността и рентабилността, тя трябва да бъде призната като интегрирана част от оперативната стратегия. Следователно е необходима цялостна стратегия за поддържане в съответствие с бизнес стратегията и оперативната стратегия, за да се осъществи стратегическото съответствие в организацията. Ролята на процеса на поддържане е променена от център на разходите на център на печалба на по-високо стратегическо ниво. В следващата точка се разглежда развитието на концепциите за поддържане. Въз основа на управлението на поддържането от четирите поколения е очевидно, че функцията за поддържане е получила високо признание през последните няколко десетилетия в различни индустрии (Velmurugan & Dhingra, 2015). Следователно през годините са разработени много стратегии в подкрепа на прилагането на управление на поддържането в промишлеността (Swanson, 2001).

ЕВОЛЮЦИЯ НА ПОДХОДА ЗА ПОДДЪРЖАНЕТО

Както е обсъдено по-горе, ролята на поддържането е претърпяла сериозни промени както от гледна точка на изследователите, така и от гледна точка на производителите. Традиционното възприемане на процеса на поддържане като поправяне на счупени предмети вече не отговаря на текущата ситуация. Съответно подходите за поддържане са преминавали през много фази и обхватът на управлението на поддържането се увеличава, за да обхване всеки етап от жизнения цикъл на оборудването (Murray et al., 1996). В този по-широк контекст функцията за поддържане е известна още като управление на физически активи (Ahuja и Khamba, 2008). Преглед на еволюцията на концепциите за поддържане е от решаващо значение за разбирането на променящата се нужда от управление поддържането. Напредъкът на подобна еволюция и разликите между тези концепции по отношение на предсказуемост и възможност за разбивки, необходимата информация, както и ефективността на разходите се изследват по-долу, за да се идентифицира моделът на развитие на подходите за поддържане.

Ремонт при отказ (Breakdown maintenance „BM“): Тази концепция се използва главно, когато поддържането просто се определя като ремонт на счупени предмети. Дейностите по техническото обслужване се извършват само след откази или повреди на оборудването (Nikolov M., G. Tonchev, V. Stoynov, 2012; Wireman, 1990). Оборудването може да работи до повреда, след което се ремонтира или подменя (Paz и Leigh, 1994). Също така се забелязва, че временно поддържане може да бъде извършено за просто възстановяване на повредено оборудване до производствено състояние, като постоянният ремонт или подмяна се отлага (Nikolov M., P. Kangalov 2012; Gallimore and Penlesky, 1988). Стратегията за реактивно поддържане (ремонт при отказ) е била възприемана предимно в производствените организации преди 1950 г. (Ahuja и Khamba, 2008). Това позволява на производителите да минимизират количеството работна ръка и други ресурси, изразходвани за поддържане, за да поддържат функционирането на оборудването (Kangalov P. 2019), (Vanzile и Otis, 1992). Този подход обаче води до променливи производствени показатели, по-високи нива на недопустимост и производство на скрап и увеличени общи разходи за поддържане и отстраняване на сериозни повреди (Bateman, 1995). Нещо повече, прилагането на такъв подход при поддържането не предлага възможност за прогнозиране на отказите, докато вероятността за възникване на откази е тясно свързана със средното натоварване.

Превантивно поддържане (Preventive maintenance „PM“): Превантивното поддържане обикновено се нарича поддържане на базата на употреба или на време, което се състои от дейности по поддържане, които се предприемат след определен период от време или количество използване на машината (Nikolov M, 2019; Herbaty, 1990). Успехът на такава стратегия разчита на очакваната вероятност оборудването да се повреди в определения интервал от време (Swanson, 2001). Предприеманите дейности обикновено включват смазване на оборудване, подмяна на части, почистване и настройка. Производственото оборудване може също да бъде инспектирано за признаци на влошаване по време на превантивното поддържане (Telang, 1998). Тази стратегия намалява вероятността от повреди, тъй като оборудването вероятно ще бъде възстановено до нормално състояние, преди да възникнат повреди. Освен това ползите от превантивното поддържане включват и удължаване на живота на оборудването, тъй като могат да се избегнат катастрофални повреди (Swanson, 2001). По отношение на предсказуемостта, превантивната стратегия разчита на точността на прогнозния интервал от време, която обикновено произтича от предишния опит. В сравнение с реактивното поддържане, този подход изисква повече ресурси за дейности по поддържане и производството може да бъде прекъснато на планирани интервали за извършване на работата (Swanson, 2001).

Прогностично поддържане (Predictive maintenance „PrM“): Прогностичното поддържане, често наричано поддържане базирано на състоянието (CBM), като се състои от действия, които се инициират в отговор на конкретно състояние на оборудването (Todorov I. 2019) (Gits, 1992). Оценката на състоянието на оборудването в реално време обикновено се получава от вградени сензори и / или външни измервания, направени от преносимо оборудване и след това обработени чрез софтуер (Velmurugan and Dhingra, 2015). Съгласно тази стратегия физическото състояние на оборудването като температура, вибрации, шум, смазване и корозия се измерва чрез диагностично оборудване (Brook, 1998). Когато един или повече от тези показатели достигнат предварително определено ниво, се предприемат действия за възстановяване на оборудването до желаното състояние (Ahuja и Khamba, 2008). При прогнозното поддържане дейностите се основават на действителното състояние на оборудването, а не на някакъв предварително определен график (Velmurugan and Dhingra, 2015). Той включва идентифициране на тези предчувствия за повреда на оборудването и отстраняването им преди настъпването на повредата (Bekana D. et. al. 2015; Delikostov T., (2020). Следователно, както при превантивното поддържане, прогностичното намалява вероятността от отказа на оборудването и позволява междувременно дейностите по поддържане да бъдат по-рентабилни (Swanson, 2001). Информацията относно предишния опит при неизправности и състоянието на оборудването в реално време е от съществено значение за успешното прилагане на стратегията за прогнозно поддържане.

Тотално качество в поддържането (Total Productive Maintenance „TPM“): Поддържането традиционно се разглежда като отделна единица, докато TPM е философия за поддържане, предназначена да интегрира поддържането на оборудването в производствения процес (Velmurugan and Dhingra, 2015). Целта на програмата TPM е да елиминира „шест основни загуби“, включително повреда на оборудването, време за настройка и настройка, празен ход и малки спирания, намалена скорост, дефекти в процеса и намален добив (Macaulay, 1988). Чрез свеждане до минимум на преработката, бавно работещо оборудване и престой, се добавя максимална стойност при минимални разходи (Jain et al., 2014). Като иновативен подход към поддържането, TPM оптимизира ефективността на оборудването, елиминира повредите и насърчава автономното поддържане от операторите чрез ежедневни дейности, включващи обща работна сила (Bhadury, 2000). За постигане на високо участие на обикновените работници, като екипни дейности, които включват групи за поддържане, производство и инженеринга, са включени като основна част на TPM (Swanson, 2001).

Според (Adair-Heeley 1989) тези екипни дейности допринасят за подобряване на работоспособността и производителността чрез тяхната комуникация за отстраняване на възникващи текущи и потенциални откази. Както се твърди от (Goto 1989), тези екипи имат за цел да проектират и инсталират оборудване, което е лесно за поддържане и експлоатация (предотвратяване на поддържането), и да подобрят начините, по които се извършва

поддържането (подобряване на поддържането). Предимствата на ТРМ включват намалена вероятност за повреди, намалени разходи за поддържане, повишена ефективност на поддържането и повишена наличност на оборудването.

КОМПЮТЪРИЗИРАНИ СИСТЕМИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ПОДДЪРЖАНЕТО (Computerized maintenance management systems „СММС“)

Днес е обичайно да се използва специализиран софтуер за планиране на график за поддържане на съоръженията. Този софтуер се нарича „Компютъризиран софтуер за управление на поддържането“ или СММС. Целта на този софтуер е да разбере как са настроени машините в дадено производство и след това да генерира графици за профилактична дейност на поддържането. Инсталирането на този софтуер обикновено се основава на препоръки от производителите и данни, натрупани от ежедневните дейности за поддържане. СММС е много полезен, ако една компания има много машини за проследяване, но има потенциал да се направи по-интелигентно планиране на поддържането.

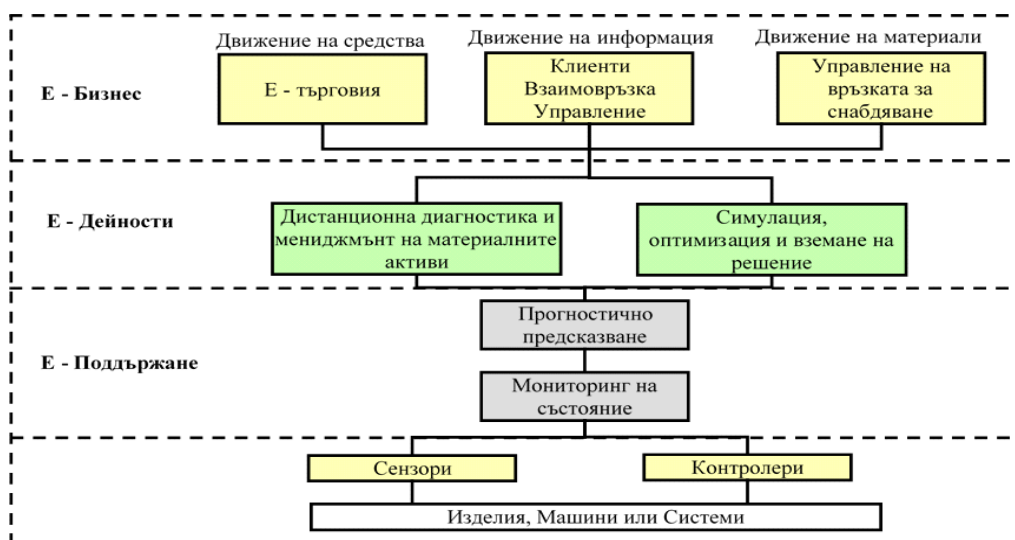
Както се твърди от (Parida и Uday 2009), процесът на поддържане е завършен като сложен въпрос, тъй като включва различни входове, изходи и заинтересовани страни. Поради това са положени огромни усилия за разработване на компютъризирани системи за управление на поддържането, които да подпомогнат управлението на широк спектър от информация за персонала за поддържане, инвентаризациите на резервни части, графиците за ремонт и историята на оборудването (Ahuja и Khamba, 2008). СММС може да се използва за планиране на заявките за поддържане, определяне на приоритети им и интегриране на дейности по поддържане в цялата производствена система. Според (Raouf et al. 1993), внедряването на СММС е от решаващо значение за ефективното използване на работната сила, резервните части, консумативи и материали.

Освен това способността на СММС да управлява информацията за поддържане допринася за подобряване на комуникацията и възможностите за вземане на решения в рамките на функцията за поддържане (Higgins et al., 1995). Нещо повече, това позволява на отделите за производство и поддържане да подобрят своята комуникация и координация в дейността си (Swanson, 2001). Заедно с развитието на СММС и други информационни технологии, през последното десетилетие се появява новата концепция за електронно поддържане (Elliot and Tobias, 2005; Karim and Parida, 2010). Например прогностиката и управлението на здравето (PHM), което е посветено на проследяването на състоянието на активите чрез анализ на сензорни данни и данни на системно ниво, е разработено доста усилено през последните години (J. Lee, 2015).

ЕЛЕКТРОННО ПОДДЪРЖАНЕ (E- MAINTENANCE) И ИНДУСТРИЯ 4.0

Същност на Е - поддържане: Най-общо казано, е - поддържане е символ на постепенната подмяна на традиционните видове ремонтни въздействия (Muller A et. al 2007) с прогностични/проактивни видове. Редовното периодично поддържане трябва да бъде заменено и изместено към философията за интелигентно поддържане, за да задоволи високите изисквания на производителя за надеждност (Тао В et. al 2003). Следователно, (Кос М. et. al 2001) посочват е - поддържане (система за електронно поддържане) като прогностично поддържане, което осигурява само мониторинг и прогностни проактивни функции (фиг. 6) (Zhang et al. 2003).

Е - поддържане като поддържане за подкрепа: Не на последно място, е - поддържане може да се нарече поддържане за подкрепа. Например, (Zhang et al. 2003) считат, че е - поддържане е комбинация от технология за уеб базирани услуги и технология представена чрез агенти, която предоставя начин за реализиране на интелигентни и съвместни функции в системите за автоматизация на индустриални системи. (Crespo Marquez et. al 2006) определят е - поддържане като разпределена среда с изкуствен интелект (CPS), която включва възможности за обработка на информация, поддържане на решения и инструменти за комуникация, както и сътрудничеството между процесите на поддържане и експертни системи.



Фиг. 6. E – поддържане на машините на дадено предприятие

Следователно определението на е – поддържане може да се определи имайки предвид Европейския стандарт (EN 13306: 2001) за технология на поддържането, а от друга страна е – поддържането като компонент на концепцията на е – производство (Lee J. 2003), което се основава върху разрастващите се информационни и комуникационни технологии за внедряване на кооперативна и разпределена многопотребителска среда (Muller A et. al 2004).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящия материал е направен анализ на Индустрия 4.0 което е обобщаващ момент на настъпващите коренни промени в поддържането на техниката. Разглеждани са подробно четирите етапа на индустриалната революция и тяхната особеност.

Особено внимание е отделено на *Кибер-физически системи* (Cyber-Physical Systems “CPS”), които са гръбнака на Индустрия 4.0. Тези системи са основни компоненти на интелигентните заводи, които обхващат в себе си: логистика, сграда, изделия, мрежа и мобилност. На тази база се развива Интернет на нещата (IoT). Интернет на услугите (IoS) от своя страна е резултат от практическото приложение на IoT.

Подробно са разглеждани определението, същността и компонентите на Кибер-физически системи и поддържане на машините в периода на Индустрия 4.0. Развитието на поддържането на техниката също е разгледано в няколко етапа, които напълно определят неговата същност. Засегнат е и въпросът за електронно поддържане познат като „E-Maintenance” свързано с “IoT”. Бъдещето на „Интернет на нещата” е светло и с течение на времето очакванията нарастват, остават да бъдат решени значителни предизвикателни въпроси не само от технологична гледна точка, но и от гледна точка на бизнеса, където въвеждането на *свързани изделия* повдига редица важни както оперативни така и стратегически реалности. Дадена е връзката между E-Бизнес, E-Търговия, E-Дейности и E-поддържане. Тази връзка се реализира посредством сензори и контролери в изделията, машините или индустриалните системи.

Необходимо е в бъдещите научни изследвания да се търси по-тясна връзка между IoT, CPS, CMMS и E-Поддържане.

REFERENCES

- Ahmed, Mohammed Hamed. (2013). OEE can be your key, *Industrial Engineer*, 45(8), 43-48
- Ahuja, I. P. S., Khamba, J. S. (2008), Total productive maintenance: literature review and directions, *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 25 No.7, pp. 709-756
- Ahuja, I. P. S., Khamba, J. S. (2008), Total productive maintenance: literature review and directions, *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 25 No.7, pp. 709-756.

- Ahuja, I. P. S., Khamba, J. S. (2008), Total productive maintenance: literature review and directions, *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 25 No.7, pp. 709-756,
- Ahuja, I. P. S., Khamba, J. S. (2008), Total productive maintenance: literature review and directions, *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 25 No.7, pp. 709-756
- Ahuja, I. P. S., Khamba, J. S. (2008), Total productive maintenance: literature review and directions, *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 25 No.7, pp. 709-756
- Al-Najjar, B & Alsyouf, I. (2004), Enhancing a company's profitability and competitiveness using integrated vibration-based maintenance: a case study. *European Journal of Operational Research*, Vol. 157, pp. 643–657.)
- Al-Najjar, B. (2000), Impact of integrated vibration-based maintenance on plant-LCC: A case study. In: McNulty, G. J. (Ed.), *Third International (Refereed) Conference Quality, Reliability and Maintenance*, Oxford, England, Professional Engineering Publishing Limited, Bury St. Edmund, London UK, 30-31 March, pp. 105-110., 2000
- Al-Najjar, B., Alsyouf, I., Salgado, E., Khoshaba, S., Faaborg, K. (2001), Economic importance of maintenance-planning when using vibration-based maintenance policy. LCC Project Report, Vaxjo University.
- Alsyouf, I. (2007). The role of maintenance in improving companies' productivity and profitability. *International Journal of Production Economics*, Vol.105, pp. 70-78.
- Alsyouf, I. (2007). The role of maintenance in improving companies' productivity and profitability. *International Journal of Production Economics*, Vol.105, pp. 70-78
- Basu, R. (2001), Six Sigma to fit sigma, *IIE Solutions*, Vol. 33, No.7, pp. 28-33.
- Bateman, J. (1995), Preventive maintenance: Standalone manufacturing compared with cellular manufacturing, *Industrial Management*, Vol. 37 No. 1, pp. 19-21.
- Bekana D. 2020, *Optimizing Maintenance of Agro-industrial Equipment*, Scientific monograph, Academic Publishing House, University of Ruse, ISBN 978954-712-800-2 (*Оригинално заглавие: Бекана Д., Оптимизиране поддържането на аграрно индустриална техника, Научна монография, Академично издателство, Русенски университет, 2020, ISBN 978954-712-800-2*)
- Bekana D. A. Antoniev, M. Zach, J. Mareček, (2015) Monitoring of agricultural machines with used engine oil analysis IN: *Mendeltech International 2015 – International Scientific Conference*, Vol. 63, No 1, Brno, ISBN 978-80-7375-625-3.
- Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M. and Rosenberg, M. (2014), How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective. *International journal of mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, Vol. 8, No: 1.
- Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M., and Rosenberg, M. (2014). How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective, *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial and Mechatronics Engineering*, 8, 3, 37-44.
- Brook, R. (1998), "Total predictive maintenance cuts plant costs", *Plant Engineering*, Vol. 52 No. 4, pp. 93-95.
- Carter, R. A. (2001), Shovel maintenance gains from improved designs. *Tools and Techniques* 106(8), S7 (Elsevier Engineering Information)
- Cross, J. (1988), Raising the value of maintenance in the corporate environment, *Management Research News*, Vol. 11 No. 3, pp. 8-11
- Deering S., R. Hinden (July 2017), Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification, Internet Engineering Task Force (IETF), ISSN 2070-1721
- Dekker, R. (1996), Applications of maintenance optimization models: a review and analysis, *Reliability Engineering and System Safety*, vol. 51, pp. 229-240.

Delikostov T., (2020) Management of fuel combustion of internal combustion engines from agricultural and tractor equipment by maintaining the food system. Scientific Monograph. Ruse, Academic Publishing House University of Ruse, p.136, ISBN 978-954-712-799-9. (*Оригинално заглавие: Деликостов Т. (2020) Управление разгода на гориво на ДВГ от земеделската и автотракторна техника чрез поддържане на хранителната система – научна монография. Русе: Академично издателство Русенски университет, р.136, ISBN 978-954-712-799-9).*)

Fleisch E., M. Weinberger, F. Wortmann, Business Models and the Internet of Things, Bosch IoT Lab White Paper, August 2014

Foster, G. and Van Tran, H. (1990), Maintenance and money, Information Strategy: The Executive's Journal, Spring, pp. 40-45.

Gallimore, K. and Penlesky, R. (1988), A framework for developing maintenance strategies, Production, Inventory Management Journal, Vol 29 No. 1, pp. 16-22

George, M. (2002). Lean Six Sigma: Combining Six Sigma Quality with Lean Speed, McGraw-Hill, New York, and NY.

Gits, C. (1992), Design of maintenance concepts, International Journal of Production Economics, Vol. 24 No. 3, pp 217-226,

Goto, F. (1989), Maintenance prevention, in Nakajima, S. (Ed.), Total Productive Maintenance Development Program: Implementing Total Productive Maintenance, Productivity Press, Cambridge, MA.

Greer Ch., Burns M., Wollman D. Griffor E., Cyber-Physical Systems and Internet of Things, NIST Special Publication 1900-202 March 2019

Herbaty, F. (1990), Handbook of Maintenance Management Cost Effective Practices (2nd Ed.), Noyes Publications, Park Ridge, NJ.

Jain, A., Bhatti, R. And Singh, H. (2014), Total productive maintenance (TPM) implementation practice: a literature review and directions, International Journal of Lean Six Sigma, Vol. 5 No. 3, pp. 293-323.

Jazdi N. Cyber Physical Systems in the Context of Industry 4.0, January 2014

Kagermann H., W. Wahlster and J. Helbig, "Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0," Forschungsunion, acatech, 2013

Kagermann H., W. Wahlster and J. Helbig, "Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0," Forschungsunion, acatech, 2013

Kagermann H., W. Wahlster and J. Helbig, "Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0," Forschungsunion, acatech, 2013

Kagermann H., W. Wahlster and J. Helbig, "Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0," Forschungsunion, acatech, 2013

Kagermann, Henning, Johannes Helbig, Ariane Hellinger, and Wolfgang Wahlster. 2013. Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the Future of German Manufacturing Industry, Final Report of the Industrie 4.0 Working Group. Frankfurt: Germany Forschungsunion

Kaifei He & Man Jin, 2016-11-11, Cyber-Physical System for maintenance in industry 4.0, Production Systems, <http://hj.diva-portal.org/smash/get/diva2:1071443/FULLTEXT01.pdf>

Kangalov P. (2019) Rebuilding electrolytic alloys coatings. Scientific Monograph. Academic Publishing House University of Ruse, p. 170, ISBN 978-954-712-785-2 (*Оригинално заглавие: Кангалов П. (2019) Възстановителни покрития от електролитни сплави – научна монография. Русе: Академично издателство Русенски университет, с. 170, ISBN 978-954-712-785-2).*)

Kumar U. (2006) Development and Implementation of Maintenance Performance Measurement System: Issues and Challenges. In: Mathew J., Kennedy J., Ma L., Tan A., Anderson D. (eds) Engineering Asset Management. Springer, London. https://doi.org/10.1007/978-1-84628-814-2_78

- Lee J, Ni J, Djurdjanovic D, Qiu H, Liao H. Intelligent prognostics tools and e-maintenance. *Computers in Industry*. 2006; 57:476-489
- Lee, J. (2015). Smart Factory Systems. *Informatik-Spektrum*, Vol 38 No. 3, pp. 230- 235.
- Macaulay, S. (1988), Amazing things can happen if you ... Keep it clean, *Production*, May, pp.72-74.
- Maggard, B.N. And Rhyne, D. M. (1992), Total productive maintenance: a timely integration of production and maintenance, *Production and Inventory Management Journal*, Vol. 33 No. 4, pp. 6-10.
- Marinov S., O Alipiev, T Uzunov. (2019) Interference of the profiles when meshing internal straight splines with gear shapers. *MATEC Web of Conferences*, No 287, 01015.
- Michael E. Porter and James E. Heppelmann, How Smart, Connected Products Are Transforming Competition, *Harvard Business Review*, November, 2014, <https://hbr.org/2014/11/how-smart-connected-products-are-transforming-competition>
- Moubray J., *Reliability-Centered Maintenance*, Industrial Press Inc., 2001
- Muller A, Suhner M-C, Iung B. Probabilistic vs. dynamical prognosis process-based e-maintenance system. In: *Proceedings of the IFAC-INCOM'04—information control in manufacturing*, Salvador, Brasil, 2004.
- Murray, M., Fletcher, K., Kennedy, J., Kohler, P., Chambers, J. and Ledwidge, T. (1996), Capability assurance: a generic model of maintenance, paper-72, *Proceedings of the 2nd International Conference of Maintenance Societies*, Melbourne, pp. 1-5
- Nikolov M., G. Tonchev, V. Stoynov, (2012) Basics of machine maintenance, Ruse, Ruse University Publishing Centre, p. 128, ISBN 978-954-712-550-6, (*Оригинално заглавие: Николов М., Г. Тончев, В. Стоянов. (2012) Основи на поддържането на машините. Русе, Издателски център при Русенски университет, с. 128, ISBN 978-954-712-550-6*).
- Nikolov M., P. Kangalov. (2012) Benefits from maintenance and repair in utilization of resources. IN: *Mendeltech International 2012 – International Scientific Conference*, No 1, Brno, ISBN 978-80-7375-625-3.
- Nikolov M, (2019) Rebuilding Overlaid Coatings Obtained Through Vibrating Arc Overlaying Process in an Atmosphere of Shielding Gas and its Mixtures - *Scientific Monograph*, Academic Publishing House University of Ruse, p. 144. ISBN 978-954-712-756-2 (*Оригинално заглавие: Николов М. (2019), Възстановителни вибрационни покрития в защитни газове и техните смеси - научна монография, Русе: Академично издателство „Русенски университет, п. 144, ISBN 978-954-712-756-2*).
- Paz, N. and Leigh, W. (1994), Maintenance scheduling: Issues results and research needs, *International Journal of Operations and Production Management*, Vol 14 No. 8, pp.47-69
- Pintelon, L. And Gelders, L. (1992), Maintenance management decision making, *European Journal of Operations Research*, Vol. 58 No. 3, pp. 301-317;
- Roudart, A History of World Agriculture, 2006, ISBN: 1-58367-121-8, <http://www.reliableplant.com/Read/18693/reliability-engineering-plant>, Mazoyer, M., L
- Ruben Ravnå Per Schjøelberg, *Industry 4.0 and Maintenance*, 2016 Norsk Forening for Vedlikehold
- Suito, K., (1998), Total productivity management. *Work Study* 47 (4), pp. 117-127.
- Swanson, L. (2001), Linking maintenance strategies to performance, *International Journal of Production Economics*, Vol 70, pp. 237-244
- Swanson, L. (2001), Linking maintenance strategies to performance, *International Journal of Production Economics*, Vol 70, pp. 237-244.
- Tajiri, Masaji, Gotoh, Fumio, 1992 *TPM Implementation: A Japanese Approach*, Hardcover – January 1, 1992
- Telang, A.D. (1998), “Preventive maintenance”, in Vijayakumar, K. (Ed.), *Proceedings of the National Conference on Maintenance and Condition Monitoring*, February 14, Government Engineering College, Thissur, India, Institution of Engineers, Cochin Local Centre, pp. 160-73.

Teresko, J. (1992), Time bomb or profit centre? Industry week, Vol.2, March, pp. 52- 57.

Todorov I. (2019) A Research about Wear Process of Details from Belt Conveyor.// Agricultural, forest and transport machinery and technologies, Vol. VI, pp. 5-10, ISSN 2367-5888.

Vanzile, D. K. and Otis, I. (1992), *Measuring and controlling machine performance*, In G. Salvendy (Ed.), Handbook of Industrial Engineering, Wiley, New York, NY.

Velmurugan, R. S. and Dhingra,T. (2015), Maintenance strategy selection and its impact in maintenance function, International Journal of Operations & Production Management, Vol.35 No.12, pp. 1622-1661.

Velmurugan, R. S. and Dhingra,T. (2015), Maintenance strategy selection and its impact in maintenance function, International Journal of Operations & Production Management, Vol.35 No.12, pp. 1622-1661.

William MacDougall, Industrie 4.0: Smart Manufacturing for the Future, Germany Trade & Invest, 2014

Wireman, T. (1990), World Class Maintenance Management, Industrial Press Inc., New York, NY.

Wortmann, F., Flüchter, K. Internet of Things. Bus Inf Syst Eng 57, 221–224 (2015). <https://doi.org/10.1007/s12599-015-0383-3>

Yamashina, H. (1995). Japanese manufacturing strategy and the role of total productive maintenance, Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol (1), No. 1, pp.27-38.

Yen, C. F., Chou, W. J., Liu, T. L., Yang, P., & Hu, H. F. (2014). The association of Internet addiction symptoms with anxiety, depression and self-esteem among adolescents with attention deficit/hyperactivity disorder. Comprehensive Psychiatry, 55, 1601–1608. [doi:10.1016/j.comppsy.2014.05.025](https://doi.org/10.1016/j.comppsy.2014.05.025)

Yoshida, K., Hongo, E., Kimura, Y., Ueno, Y., Kaneda, M. and Morimoto, T. (1990), in Nachi-Fujikoshi Corporation and JIPM (Eds), Training for TPM: A Manufacturing Success Story, Productivity Press, Portland, OR.

Zuehlke, D. (2010). Smart Factory - Towards a factory-of-things. Annual Reviews in Control, 34(1), 129-138.