



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ

МАШИННО-ТЕХНОЛОГИЧЕН ФАКУЛТЕТ

**Катедра „Технология на машиностроенето и
металорежещи машини“**

инж. Константин Стефанов Чукалов

**ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ПРИВЕЖДАНЕ НА
МАШИНОСТРОИТЕЛНИТЕ ТЕХНОЛОГИИ
КЪМ ИЗИСКВАНИЯТА НА ЧЕТВЪРТАТА
ИНДУСТРИАЛНА РЕВОЛЮЦИЯ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**на дисертация за придобиване на образователна и научна степен
"ДОКТОР"**

Област: 5. Технически науки

Професионално направление: 5.1. Машинно инженерство

Научна специалност: Металорежещи машини и системи

**Научен ръководители: проф. д-р инж. Димитър Дамянов
доц. д-р Тотю Гешев**

СОФИЯ, 2018 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „ТМММ“ към МТФ на ТУ-София на редовно разширено заседание, проведено на 13.11.2017г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 22.03.2018г. от 15.00 часа в Конферентната зала на БИЦ на Технически университет – София на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ-357 от 06.12.2017 г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. проф. д-р инж. Димчо Чакърски – председател
2. доц. д-р инж. Тотю Гешев– научен секретар
3. проф. д-р инж. Васил Костадинов
4. проф. д-р инж. Михаил Кършаков
5. проф. д-р инж. Стефан Къртунов

Рецензенти:

1. проф. д-р инж. Димчо Чакърски
2. проф. д-р инж. Васил Костадинов

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на МТФ на ТУ-София, блок № 3, кабинет № 3230.

Дисертантът е редовен докторант към катедра „ТМММ“ на МТФ. Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора, като някои от тях са подкрепени от научноизследователски проекти.

Автор: инж. Константин Чукалов

Заглавие: Възможности за привеждане на машиностроителните технологии към изискванията на четвъртата индустриална революция

Тираж: 30 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

В условията на глобализацията машиностроителните фирми са подложени на голям конкурентен натиск. Това налага търсенето и внедряването на качествени нови технологии в производствените системи. Масовото производство постепенно се заменя с гъвкаво и индивидуализирано производство.

За първи път в Германия се въвежда терминът „Индустрия 4.0“ през 2012г., за да насърчи качествено нова стъпка в компютъризацията на промишлеността си и е основа за изграждането на така наречените „интелигентни фабрики“ (SmartFactory). В рамките на тази стратегическа инициатива се цели да се използва водещата роля на индустриалните информационни технологии, използване на способността на киберфизически системи (cyber-physical systems), *да обменят реална информация помежду си посредством "Интернет на нещата" (Internet of Things) и „Интернет на услугите" (Internet of Services).*

Цел на дисертационния труд, основни задачи и методи за изследване

Цел на разработения дисертационния труд е да се изследват съществуващите) технологии в машиностроителните фирми у нас и на тази база да се съпоставят основните им технологични показатели с тези заложи в ЧИР, да се оценят възможностите за привеждането им към изискванията на ЧИР, да бъде извършено систематизиране и селектиране на подходи, алгоритми и модели за приложение, оценяване и прогнозиране на ефективността за приложението им.

За постигане на целта е необходимо да се решат следните задачи:

1. Анализ и систематизиране на специфичните характеристики, фактори и особености на ЧИР.
2. Изследване възможността за приложение на принципите на ЧИР в машиностроителните фирми у нас, чрез съпоставимост на определени критерии и показатели.
3. Анализ и роля на стандарти и нормативни изисквания за ЧИР.
4. Формулиране и предлагане на методологичен подход за създаване на условия за ефективно приложение на методологията на ЧИР в индустриалните фирми у нас.
5. Апробиране на методологичната постановка.

Научна новост

Проучени и анализирани са съвременните тенденции в развитието на киберфизичните системи и на тази основа са предложени принципи и подходи при въвеждане към изискванията на ЧИР. Предложени са методики

за изследване на техническата, информационната и организационна среда по показатели. Разработени са модели за изследване на влиянието на тези показатели във внедрени компоненти в дейността на предприятията за изследване на тяхната съвместимост и алгоритъм за привеждане към изискванията на ЧИР.

Практическа приложимост

Чрез прилагането на предложените методики се отчитат важни за конкурентоспособността и ефективността на работа на фирмата показатели. Методиката има универсален характер и с малки изменения може успешно да се адаптира в различни фирми.

Апробация

Дисертационният труд е представен изцяло в катедра „ТМММ” при ТУ – София. Съществени части от него са апробирани и на: международни конференции “INDUSTRY 4.0”2016 и “INDUSTRY 4.0”2017 и „АДП – 2016“ и „АДП – 2017“. Експериментът се ограничава в рамките на шест машиностроителни предприятия.

Публикации

Основни постижения и резултати от дисертационния труд са публикувани в седем публикации, от които три самостоятелни.

Структура и обем на дисертационния труд

Дисертационният труд е в обем от 198 страници, като включва увод, четири глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо 145 литературни източници, като 102 са на латиница и 14 на кирилица, а останалите са интернет адреси. Работата включва общо 94 фигури и 23 таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

ГЛАВА 1. АНАЛИТИЧЕН ОБЗОР НА ОСОБЕНОСТИТЕ НА ЧЕТВЪРТАТА ИНДУСТРИАЛНА РЕВОЛЮЦИЯ (ТЕОРЕТИЧЕСКА И ПРАКТИЧЕСКА) И ВЪЗМОЖНОСТИ ЗА ПРИЛОЖЕНИЕТО ИМ

В тази глава са проучени същността, структурата и особеностите на ЧИР.

Визията за „Индустрии 4.0“ е " Интелигентните фабрики ще имат един напълно нов подход в производството. Интелигентните продукти ще са с еднозначна идентификация на състоянието, което може да се

идентифицира във всеки един момент, със собствена история, текущ статус и алтернативни маршрути за постигане на целта. В допълнение ще се даде възможност и ще се изисква непрекъснат инженеринг по цялата верига на добавената стойност[13].



фиг. 1.1 Проектни области на „Индустрии 4.0“

Първата индустриална революция е свързана с механизация, задвижвана посредством вода и пара и е в резултат от откриването на парния двигател и механизмирането на ръчния труд в края на XVIII век. Тя е последвана от **Втората индустриална революция** на масово производство, чрез прилагане на монтажни линии и използване на електрическа енергия в началото на XX век. **Третата революция** е т.н. цифрова революция, с използването на информационни технологии за по-нататъшно автоматизиране на производството[8].

Факторите, които обуславят **четвъртата индустриална революция** са:

- Увеличаване на изискванията на потребителите по отношение индивидуализиране на продуктите;
- Интеграция на клиенти и доставчици в процеса на проектиране и производство;
- Бързо развитие на информационната и комуникационната индустрия;
- Реорганизацията на веригата на стойността и на логистичните и производствени процеси в глобализирания пазар.

Понастоящем протичат успоредно инициативи със сходни характеристики в редица страни. Пионер в областта на приложението на ЧИР у нас е Машинно-технологичния факултет на Технически университет София, в чиито учебни планове приоритетно място заемат място виртуалното инженерство и ЧИР. Практическата насоченост се осъществява, чрез научно-изследователската лаборатория(НИЛ) CAD/CAM/CAE, където се извършва моделиране, проектиране, реинженеринг и прототипиране на машинни детайли и възли и е сред десетте най-технологични в цяла Европа [11,12].

Лабораторията е отличена с много награди, сред които „Питагор“, „Икар“, „Златна книга“ и много други.

Технологичната база на ЧИР са: Кибер-физически системи, „Интернет на нещата/компонентите/подсистемите на кибер-физичните системи“ и „Интернет на услугите“, чрез които се създават мрежи за саморегулиране на пространствено разпределени производствени ресурси, според Deuse, Weisner, Hengstebeck и Busch [46]. Основните компоненти и етапи, според Roth, са отразени на фиг.1.5 [94].



Фиг.1.5. Компоненти и етапи на ЧИР

В Бялата книга на ЧИР [87] са изведени следните основни принципи за реализация на ЧИР:

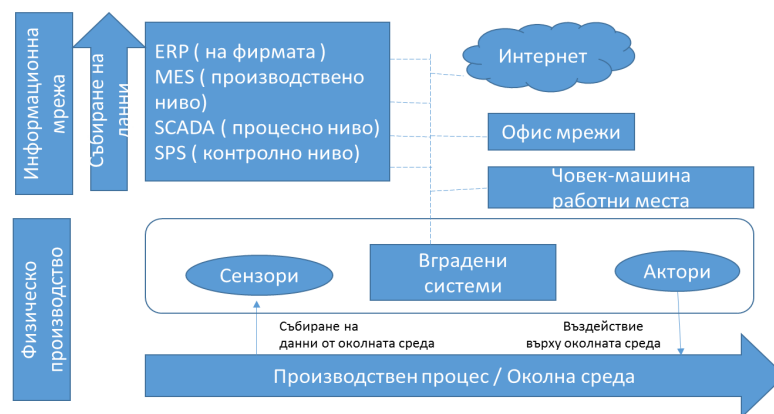
- *Оперативна съвместимост*: способността на кибер-физически системи, хора и „Интелигентни фабрики“ (Smart Factory) да обменят информация помежду си посредством „Интернет на нещата“ (Internet of Things) и „Интернет на услугите“ (Internet of Services);
- *Виртуализация*: виртуално копие на „Интелигентна фабрика“, което се създава, посредством свързване на данни, събрани от сензори;
- *Децентрализация*: способността на кибер-физически системи в рамките на една интелигентна фабрика да вземат самостоятелни решения;
- *Информация в реално време*: способността да се събират и анализират данни и взимане на решения в момента;
- *Ориентация към услуги*: предлагане на услуги на кибер-физическите системи, хора и "интелигентните фабрики", посредством "интернет на услугите";
- *Модулност*.

Развитието на кибер-физичните системи се характеризира с три фази на изпълнение, а именно:

- Първото поколение, което включва идентификационни технологии, като RFID тагове, които позволяват уникална идентификация. Съхранение и анализът на информацията е централизирана услуга.

- Второто поколение на CPS е оборудвано със сензори и изпълнителни механизми с ограничен набор от функции.
- Третото поколение може да съхранява, анализира данни и е оборудвано с множество сензори и изпълнителни механизми, изпълнени в съвместими мрежи, според Bauernhansl, Hompel, Vogel-Heuser [22].

Вграждането на кибер физични системи в производството за изграждане на интелигентна фабрика е показано на фиг.1.16, според Roth [94].



Фиг.1.16. Вграждане на кибер физична производствена система

Основни изводи от първа глава

1. Основа на ЧИР са кибер-физичните системи (CPS), които включват физически механични комплекси с ИТ системи, хардуерни и софтуерни цифрови компоненти с механични или електронни части и които автономно комуникират един с друг.

2. Под Интернет на „нещата“ (IoT) се разбира Интернет на компонентите на кибер физическата система (CPS) или разгледани в кибернетичен системен аспект те се явяват, като подсистеми. Компонентите в случая са: интелигентни машини, вградени саморегулиращи се системи, хардуер, софтуер и др. уникално адресирани обекти и мрежи, които интелигентно взаимодействат помежду си, за постигане на общата цел.

3. Интернетът на „услугите“ (IOS) осигурява „доставчиците на услуги“ да предлагат своите услуги, чрез интернет, като включва и участниците в услугата. Това са: инфраструктурата за услуги, бизнес моделите и самите изпълнители на услугите.

4. Изискванията, които характеризират предимствата на ЧИР са от технически, информационен и организационен характер. Те включват следните показатели:

- Технически изисквания и технически компоненти , както следва : Иновационно остаряване, Техническо ниво на елементите на техническата система – 2D, 3D, Степен на модулност, Степен на гъвкавост, Оперативна съвместимост, Функционална хоризонтална съвместимост и вертикална съвместимост;

- Информационни компоненти, които обхващат : Информационна среда, Хоризонтална и вертикална интегрираност и Софтуер.

- Организационни компоненти, като стандартизация, киберсигурност и компютърни услуги.

ГЛАВА 2. МЕТОДОЛОГИЧЕН ПОДХОД ЗА ПРИЛОЖЕНИЕ НА ПРИНЦИПИТЕ НА ЧИР В МАШИНОСТРОИТЕЛНИТЕ ФИРМИ

В контекста на направеното аналитично изследване се очертават следните основни изисквания по отношение на въвеждане на ЧИР, като:

- хоризонтална интеграция във веригата по създаване на добавена стойност;
- вертикална интеграция на бизнес и технологическите процеси;
- непрекъснатостта на инженеринг през целия жизнен цикъл при въвеждане на нови информационни и производствени технологии.

За целите на дисертационния труд бяха изследвани съществуващи подходи за въвеждане на изискванията на ЧИР.

Подход за Управление на жизнения цикъл на продукта (Product Life Management PLM).

Интегрирането на потребителските изисквания и оптимизиране на разходи, време и качество през целия жизнен цикъл на продукта е в основата на PLM подхода, според Scheer [97].

Парциален (сегментиран) подход

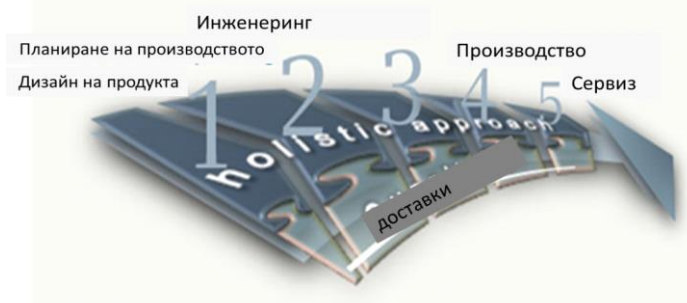


2.2. Характеристики на парциалния подход, според Brossardt[32]

Подходи и стратегии за въвеждане в зависимост от релациите, като инвестиции, време и степен на готовност.

Холистичен (цялостен) подход за оптимизиране на технологичната верига на добавена стойност

Съвременното развитие поставя нови изисквания към производствените компании за приложението на цялостен (холистичен) технологичен подход.



Фиг. 2.4. Холистичен подход (Сиенс)

РАЗРАБОТКА НА ПОДХОД НА ПРИВЕЖДАНЕТО НА КОНВЕНЦИОНАЛНИ ПРОИЗВОДСТВЕНИ СИСТЕМИ КЪМ ИЗИСКВАНИЯТА НА ЧИР.

В рамките на дисертационния труд е предложен изследователски подход, фиг.2.18.



Фиг.2.18. Алгоритъм на подхода

Подходът на изследването се основава на събиране, обработване и анализиране на значителна информация от голям брой действащи машиностроителни фирми в България, на основата на специално разработена методика и с използване на статистически методи и специализиран софтуер за обработка на информация.

Включени са следните основни етапи:

Етап 1. *Определяне на обекта на изследване, в т.ч. отраслите, обект на изследване и определяне на предприятията, обект на изследване.*

Етап 2. *Разработване на методика за оценка на нивото на техническата система и ниво на оборудването (машини, апарати, съоръжения и устройства). Разработване на анкетна карта*

Етап 3. *Разработване на методика за аналитично изследване на информационната структура. Разработване на анкетна карта.*

Етап 4. *Съпоставимост и избор на показатели. Разработване на концептуален модел.*

Етап 5. *Алгоритъм за привеждане на кибер-физични системи (хибрид), към принципите на ЧИР. Съставен от няколко фази:*

- Избор на кибер-физична система;
- Избор на компонент;
- Изследване на присъединителни механизми;
- Изследване на функционалността му.

Етап 6. *Модел за съпоставимост на показателите и изследване на адекватността.*

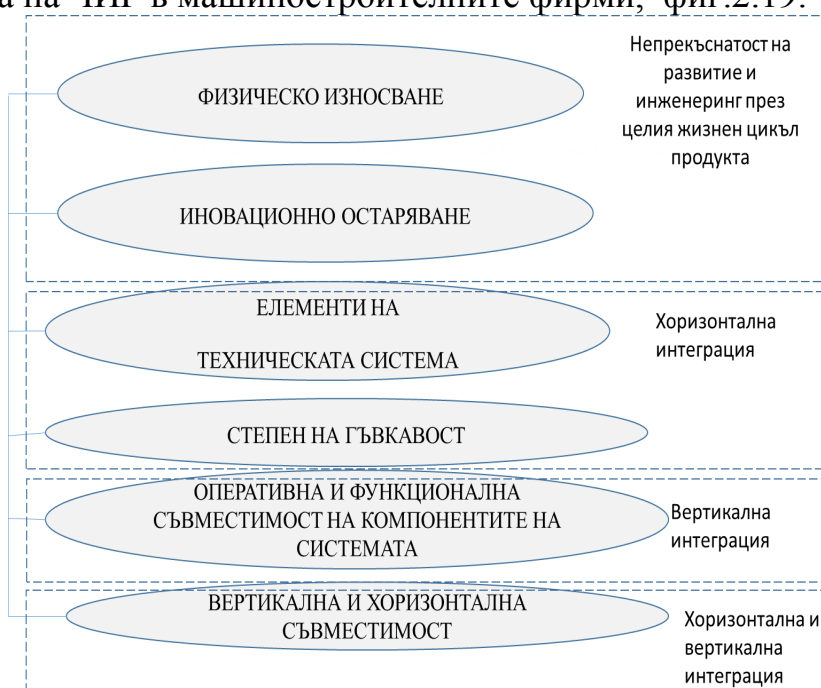
Етап 7. Разработване на виртуален модел за оценка и прогнозиране на основата на инструментариума на интелигентните неврони мрежи

Етап 8. Обработка на получените резултати и оценяване на нивата на възможностите за привеждане Извършване на логически анализ и интерпретация на резултатите.

Етап 9. Формулиране на изводи и насоки за повишаване на резултатите, чрез препоръки.

Методика за изследване на ниво на техническата система и ниво на оборудването (машини, апарати, съоръжения, устройства и др.

За по-добро структуриране на проблема с отчитане на изискванията на ЧИР, влияещите фактори са групирани и се дефинира методологическата основа на подхода за изследване на възможностите за привеждане на изискванията на ЧИР в машиностроителните фирми, фиг.2.19.



Фиг. 2.19. Систематизиране на факторите (собствено систематизиране)

Параметрите и показателите, които могат да характеризират състоянието са:

- Икономически, изразени в икономически показатели: като експлоатационни разходи, дял за оборудване на единица продукция, себестойност на единица продукция, амортизационни разходи;
- Техничко-технологични параметри, изразени в технически показатели, включващи експлоатационен срок, надеждност, коефициент на полезно действие, технологични възможности и др.

За целите на изследването бе разработена и използвана Анкетна карта за проучване нивото на техническата система и възможностите за привеждане към изискванията на ЧИР , фиг.2.20.

Ниво на техническата система и ниво на оборудването(машини апарати, съоръжения, устройства и др.)		
1. Какъв тип физическо изхвърляне на техническата система има?		
	1.	Изменение на параметрите на оборудването, без изменение на производителността.
	2.	Изменение на параметрите на оборудването, със изменение на производителността.
	3.	Изменение на параметрите на оборудването със спиране на работата.
2. Какъв тип иновационно остаряване има?		
	1.	Частично, иновационно остаряване, без оказване на влияние върху производителността.
	2.	Пълно иновационно остаряване, относително влияещо върху производителността
	3.	Изменение на параметрите на оборудването със спиране на работата.
3. Какви елементи има техническата система ?		
	1.	Конвенционален тип машини.
	2.	Машини с управляващи устройства в 2 D
	3.	Машини с управляващи устройства с 3 D
	4.	Автоматизирани устройства(степен на автоматизация)
	5.	Автоматични комплекси(степен на автоматизация)
	6.	Саморегулиращи се системи
	7.	Техническа съвместимост(нива на елементите на системата)
	8.	Базови и свързващи модели

		да	не
4. Модули, комплекси система	1.	Модулна мрежа	
	2.	Комплексна мрежа	
	3.	Системна мрежа	

		да	не
5. Степен на автоматизация на елементите и компонентите на системата	1.	CAD/CAM/CAE	
	2.	софтуер(модели)	
	3.	Вертикална и хоризонтална диверсификация	

		да	не
6. Оперативна и функционална съвместимост на елементите и компонентите на системата.	1.	Децентрализация	
	2.	Информация в реално време	
	3.	Централизация	

		да	не
7. Хоризонтална и вертикална съвместимост системата	1.	Технологични и бизнес операции в хоризонтална посока	
	2.	Технологични и бизнес операции във вертикала	
	3.	Насочени мрежови модели за съвместимост и комуникация на елементите на системата в хоризонтала и вертикала.	
	4.	Саморегулиращи се компоненти(под системи) на техническата и производствената система.	

		да	не
8. Степен на гъвкавост	1.	Гъвкаво адаптиране към променящите се изисквания(замяна)	
	2.	Гъвкаво адаптиране към променящите се изисквания(разширяване)	
	3.	Гъвкаво адаптиране към променящите се изисквания(друг вид)	

Фиг. 2.20. Анкетна карта за проучване на техническото състояние

Методика за аналитично изследване на информационната структура

По отношение на нивото на **Информационната среда** се изследват показатели, като: непрекъснатост на информацията, цялостност на информацията (обмен на данни в реално време), конфиденциалност на информацията и някои други специфични информационни изисквания.

По отношение на **Хоризонтална и Вертикална интеграция, показатели, като** Информационни системи с хоризонтално ниво на интеграция (информация за материален поток, енергиен поток, технологичен и др., като и възможност за непрекъснато оптимално решение

Софтуерни продукти се характеризират със , степен на цифровизация(индивидуални решения или интеграционни модели) във вертикала и хоризонтала и други решения. Разработена е и Анкетна карта за проучване на информационната структура, фиг.2.21.

Анкета за изследване на информационната структура

Сигурност и надеждност на системата				
			да	не
1. Информационна среда	1.	Непрекъснатост на информацията		
	2.	Цялостност на информацията (обмен на данни в реално време)		
	3.	Конфиденциалност на информацията		
	4.	Други решения		
2. Хоризонтална и вертикална интеграция	1.	Информационни системи с хоризонтално ниво на интеграция (информация за материален поток, енергиен поток, технологичен и др.)		
	2.	Възможност за непрекъснато оптимално решение във вертикална посока		
	3.	Други решения		
3. Софтуерни продукти	1.	степен на цифровизация (индивидуални решения или интеграционни модели) във вертикала и хоризонтала		
	2.	други решения		

Фиг.2.21. Анкетна карта за проучване на информационната структура

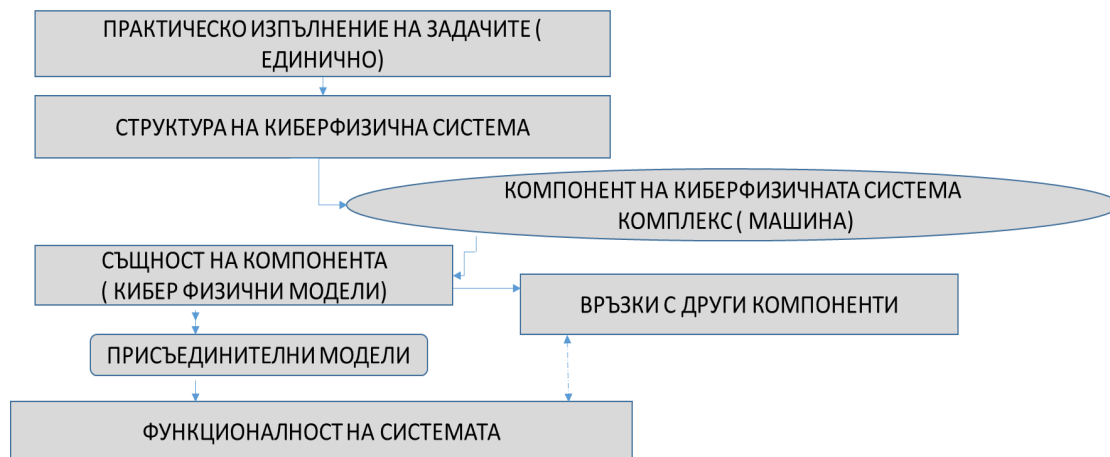
Съпоставимост и избор на показатели. Концептуален модел, фиг.2.22



Фиг.2.22. Концептуален модел

Организационни решения за привеждане към изискванията на ЧИР на основата на концептуалния модел. Алгоритъм за приложение.

За целите на докторската работа бе разработен алгоритъм за внедряване, фиг. 2.24.



Фиг. 2.24. Алгоритъм за приложение

Алгоритъмът за внедряване включва избор на структура на кибер-физичната система, избор на компонент и присъединителни модели, осигуряващи функционалността на системата.

Структура на кибер-физичната система

Структурата на кибер-физичната система на един компонент представлява връзката на автоматизираната машина със сензори, и с управляващо устройство, ако е необходимо. По този начин се постига комплекс (хибрид)

Избор на компонент на кибер-физичната система, избор на машина (хибрид) и подход за реорганизация

Същност на компонента (кибер-физични системи). Определяне на показателите за наблюдение.

Изборът на кибер-физични системи и сензори е от особено значение за функционирането на системата. Сензорите осъществяват сливането на физическия и виртуалния свят, за това към тях се предявяват следните изисквания:

- да измерват показатели, които са технологично важни. Целта е да се изберат, механични, електрически или др. вид показатели, които имат най-голямо значение за функционирането на системата.
- възможност за монтаж. Анализират се габаритните размери на сензорите, техният обхват и дали могат да бъдат практически инсталирани
- възможност за безжична връзка, за да се поддържа обмен на информация в реално време.

Присъединителните модели са софтуерните приложения, които осигуряват **оперативната съвместимост на системата.**

Функционалност на системата

Проверката на функционалността на системата представлява анализ на технико-информационните връзки на създадения хибрид и се предлага да бъде изследвана със симулации.

Изводи от втора глава

Общи изводи

1. Формулирана е методологията на изискванията за приложение на принципите на ЧИР.

2. На тази база е предложен подход за въвеждане на конвенционални системи към изискванията на дигитализираното производство в контекста на ЧИР.

3. Направена е съпоставка между параметри/показатели и принципи.

4. Разработен е концептуален модел и алгоритъм на привеждане на конвенционалните системи, който включва избор на структура на кибер-физичната система, избор на компонент и присъединителни модели, осигуряващи функционалността на системата.

5. Разработен е модел за прогнозиране и оценка на ефективността на основата на интелигентни невронни мрежи.

6. Изследвани са връзките между отделните показатели в ЧИР.

7. Възможно е привеждане на съществуващи конвенционални и автоматизирани производствени системи във фирмите и тяхното съответствие към принципите на ЧИР и това ще доведе до повишаване на техните стопански резултати, респ. конкурентоспособността.

Методологически изводи

1. Разработени са методики за изследване на нивото на техническата и информационната система (показатели).

2. Разработени са модели за съпоставимост на показателите с изискванията на киберфизичните системи, включваща показателите: технически изисквания и технически компонентим информационни компоненти и организационни компоненти.

ГЛАВА 3. СЪЗДАВАНЕ НА УСЛОВИЯ ЗА ЕФЕКТИВНО ПРИЛОЖЕНИЕ НА МЕТОДОЛОГИЯТА НА ЧЕТВЪРТАТА ИНДУСТРИАЛНА РЕВОЛЮЦИЯ В ИНДУСТРИАЛНИТЕ ФИРМИ У НАС.

Общи изисквания.

Методологическата последователност при привеждане на съществуващите производствени системи към изискванията на ЧИР е от изключителна важност. На основата на направените проучвания и анализи се констатира, че те се свеждат до технически, технологически, информационни и организационни изисквания.

Технически и технологични изисквания

Основни изисквания:

- изграждащите се системи трябва да са лесни за подразбиране от потребителя, интуитивни за използване, благоприятни за изучаване и надеждни за ползване;
- общодостъпни модели трябва да могат да се ползват за проектиране, внедряване и експлоатиране;
- комплексност, която може да се управлява, чрез моделиране, симулация и самоорганизация. По-голямата свобода за решаване на проблемите да позволява те да се анализират и решават по-бързо;

- ефективността да може непрекъснато да се планира, реализира, наблюдавана и автономно оптимизира;
- интелигентните продукти да са активни носители на информация през всички етапи на жизнения си цикъл, по този начин са разпознаваеми;
- компонентите на системите да са адресируеми и разпознаваеми в рамките на производството. Те подкрепят виртуалното планиране на производствените системи и процеси;
- новите компоненти на системите трябва да имат възможност да се заменят и да могат да поемат съвместими функции;
- Системните компоненти трябва да осигуряват достъп до други системни компоненти;
- Новата култура за сигурност трябва да води до надеждни, устойчиви и обществено приети системи на ЧИР [89].

Информационни изисквания

Условия за интелигентната фабрика. Съществена предпоставка за интелигентната фабрика е предоставянето и разпространението на данни и информация, за продукт, процес или организация, като:

- информация, свързана с целия живот на даден продукт трябва да се събира и предоставя на производителя.
- информация на производствения процес в реално време

Изводи от трета глава

Общи изводи

1. Определени са условията и изискванията за приложение на принципите на ЧИР.
2. Определени са основните технологични, информационни и организационни изисквания за приложение на ЧИР в машиностроенето.
3. На база на развитие на стандартизацията на ИКТ за цифровия пазар са дадени насоките за разработване на стандарти в областта на ЧИР.
4. Определени и предложени са използвани за стандартизиране и унификация на детайли, възли, продукти и дейности в дефинирани от ЕС приоритетни области.

Изводи от методическата последователност

1. Създадени са условия от технически, информационен и организационен характер за ефективно приложение на ЧИР в индустриалното развитие на фирмите в Р.България.
2. Разработен е модел за хибридни решения

ГЛАВА 4. ЕКСПЕРИМЕНТИРАНЕ НА МЕТОДОЛОГИЧНИЯТ ИНСТРУМЕНТАРИУМ ЗА ПРИВЕЖДАНЕ НА КОНВЕНЦИОНАЛНИ ПРОИЗВОДСТВА КЪМ ИЗИСКВАНИЯТА НА ЧЕТВЪРТАТА ИНДУСТРИАЛНА РЕВОЛЮЦИЯ

4.1.Общи положения.

В рамките на дисертационното изследване са направени проучвания в промишлени предприятия. Основната цел бе събиране и анализ на

информация за да се изследват възможностите за привеждане на конвенционални производства към изискванията на ЧИР, както и да се направи апробиране на методологическия инструментариум предложен във втора глава.

Експериментът е направен в машиностроителни фирми, чрез анкетна карта в 49 фирми период от 2014-2016 г. и интервю. За респонденти бяха взети експерти и фирмени мениджъри.

Методи за обработка на резултатите

За обработка на резултатите е използван качествен и количествен анализ. Анкетните карти са обработени, чрез методите на статистическия анализ и SPSS (версия 18.1, Windows 10.0)

Оценка на резултатите от изследването.

Избраният метод за набиране на информация е допълнен с интервю на работното място в **6 фирми**. Получените резултати са интересни по отношение и показателни за равнище на производствените системи и техните възможности.

Апробация на методиките за изследване на техническата и информационната среда

Практическа проверка на алгоритъма за внедряване на ЧИР.

На основата на анализа по разработената методика и за целите на докторската работа бе направена проверка (практическо изпълнение по единично) на алгоритъма за внедряване.

Първи етап: Структура на киберфизичната система

Структурата на киберфизичната система на един компонент представлява връзката на автоматизираната машина със сензори и с управляващо устройство, ако е необходимо. По този начин се постига комплекс (хибрид), което е първата стъпка към постигане на условията на ЧИР. Създаденият комплекс вече е кибернетичен обект.

Втори етап : Избор на компонент на киберфизичната система, избор на машина(хибрид) и подход за реорганизация

За структурна реорганизация в информационно – техническата система на производствена машина (хибрид) за работа в условията на ЧИР е избрана машина, която е от фрезова група (хибрид) вертикален обработващ център-DESKEL DMC 635V ECO с ЦПУ, която ще бъде оборудвана с елементи на киберфизична система. Моделът на машината е показан на фиг.4.7.(а) и (б) и техническият паспорт на фиг. 4.8.

	Технически данни: CNC Siemens 810 D working area: longitudinal 635 mm cross 510 mm vertical 460 mm table surface area 790 x 560 mm / 600 kg turning speed range - 8.000 U/min
---	---

фиг.4.7. Вертикален обработващ център DECKEL DMC 635 VECO(a) и технически данни (б).

**Трети етап. Същност на компонента(киберфизични системи).
Определяне на показателите за наблюдение.**

Изборът на сензори в киберфизични системи е от особено значение за функционирането на системата. Сензорите са връзката за осъществяване на сливането на физическия и виртуалния свят. Те трябва да отговарят на следните изисквания:

- да измерват показатели, които са технологично важни. Целта е да се изберат механични, електрически или др. вид показатели, които имат най-голямо значение за функционирането на системата и които най-често дават отклонение;
- да имат възможност за монтаж. При което се анализират габаритните размери на сензорите, техният обхват и дали могат да бъдат практически инсталирани, за да могат да отразяват информация и да се гарантира сигурност на системата;
- възможност за пряка връзка, за да се поддържа обмен на информация в реално време.

На базата на аналитичното изследване са избрани за наблюдение четири показателя, като се установи, че те имат най голям дял за стабилността на производствено-техническата система на избраната машина, а именно: трептения, сили на рязане, топлинни въздействия и шум.

Избрани са 4 (четири) сензора, но техният брой е възможно да е по-голям в зависимост от показателите които трябва да се наблюдават.

1. Изследван първи показател - трептения

Една от най-често проследяваните величини в технологичния процес са механичните трептения. Диагностика на машините се извършва, чрез регистрация и анализ на комплекс параметри, които най-пълно отразяват техническото състояние на конкретния тип машина. В най-общия случай това са температура, налягане и степен на сгъстяване, съпротивление, мощност, скорост, шум и вибрации, сила и напрежение на тока и др. Тъй като повечето от тези параметри са взаимосвързани, необходимо е техният анализ също да се извършва съвместно. Общите изисквания за наблюдение и

анализ на събраните данни, методите за контрол, критериите и границите на зоните на състоянието на системите и други важни фактори са описани в стандарта ISO 17359:2003 "Мониторинг на състоянието и диагностика на машините".

Избор за инструмент за измерване

За измерването е избран портативен регистратор на вибрации (тип акселометър), който има следните предимства: записва 3-осни вибрации, измерва статични и динамични вибрации, с малки габарити, лесно се монтира (стойка за неподвижно закрепване).

Сензорът е монтиран, според изискванията на стандарта ISO 17359:2003 на корпуса на металорежещата машина, фиг. 4.9.



Фиг 4.9. Разположение на сензора на корпуса

Вибрации при машини с ротационно движение.

Динамичните явления и вибрационното състояние при тези машини се моделират и изучават комплексно за системата „Ротор - Лагерни възли - Корпус". Възникването на трептения в описаната система се дължи на редица конструктивни, технологични, производствени и експлоатационни причини.

За целите на докторската работа са направени измервания на изработваните детайли: планка, втулка и фланец. Сензорът е настроен да регистрира 50 измервания (максимума на сензора) през 5 секунди, за да се създаде повече данни за анализ.

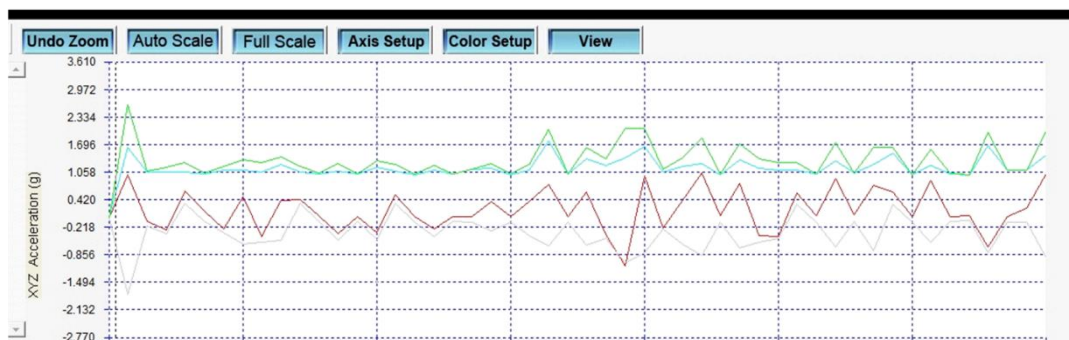
Измерване на вибрация на първи детайл-планка

При спазване на изискванията на стандарта за минимум 10 изпитвания на детайл. Измерени са пикове на вибрациите в mm/s^2 по трите оси, показани на (фиг.4.10) и с графично изображение (фиг.4.11).

X Max	1.03 @ 06/04/17 18:02:35	Min	-1.11 @ 06/04/17 18:02:31
Y Max	0.34 @ 06/04/17 18:02:08	Min	-1.77 @ 06/04/17 18:02:05
Z Max	1.77 @ 06/04/17 18:02:27	Min	0.00 @ 06/04/17 18:02:04

Фиг. 4.10. Пикове на измерените вибрации по трите оси

мм/с²



Бр. измервания

Фиг. 4.11. Графично изображение на измерени вибрации на детайл планка, (ос X-зелена крива, ос Y-червена, ос Z-синя)

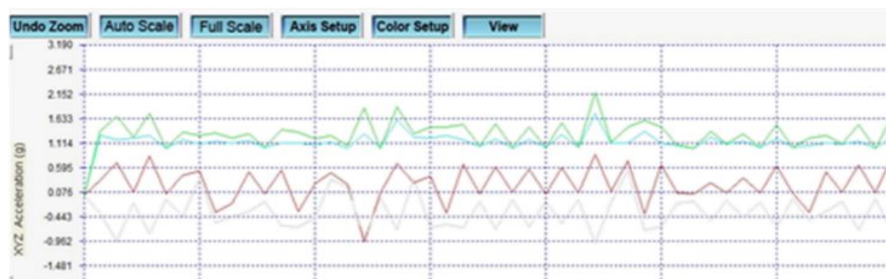
Измерване на вибрации на детайл втулка.

Измерени са пикове на вибрациите в мм/с², фиг. 4.12 и с графично изображение на фиг.4.13.

X Max	0.88 @ 06/04/17 18:05:25	Min	-0.98 @ 06/04/17 18:05:11
Y Max	0.55 @ 06/04/17 18:05:27	Min	-1.00 @ 06/04/17 18:05:25
Z Max	1.74 @ 06/04/17 18:05:25	Min	0.00 @ 06/04/17 18:04:54

фиг. 4.12. Измерени пикове на вибрации на детайл втулка

мм/с²



Бр. измервания

Фиг. 4.13. Графично изображение на измерени вибрации, (ос X-зелена крива, ос Y-червена, ос Z-синя)

Отчитането на стойностите на вибрациите и за трите детайла е в класификационния номер на вибрациите A/B, според стандарта ISO 17359:2003.

2. Изследван втори показател – сили на рязане.

При металообработване действат сили на рязане, както върху режещия инструмент, така и върху детайла. Те също могат да доведат до намаляване качеството на обработка с повреждане на инструмента и детайла.

3. Изследван трети показател – топлинни въздействия.

В процеса на работа се генерира и топлина, която оказва влияние върху износването и трайността на режещия инструмент и това се отразява върху качеството и производителността. Инструментът поема част от топлината на стружката, като при високи обороти температурата на рязане може да

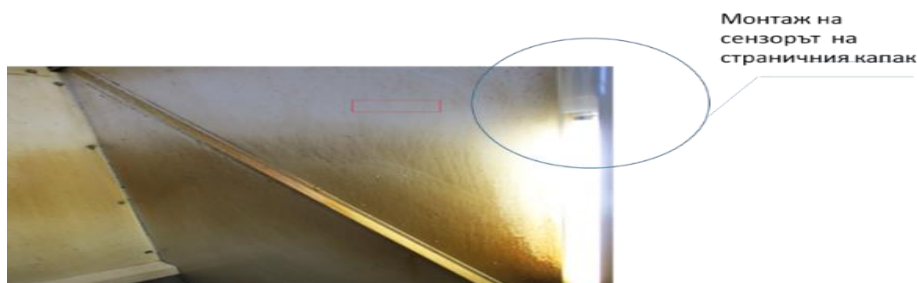
достигне до 1000° , а загореният инструмент се удължава и бързо се износва. Измерването на температурата на режещия инструмент е трудно, заради сложността на разполагане на измервателния инструмент

Избор на температурен инструмент .

Най подходящия избор е температурен сензор, като най-технологичният вид сензор е оптичният (с инфрачервени топлинни лъчи), чийто предимства са :

- безконтактен и може да се бъде разположен далеч от зоната на рязане. По този начин няма как да бъде засегнат от стружкоотделянето, охладителната течност, удар или др.;
- прецизно измерване на температурата, както на инструмента, така и на стружката;
- малки размери и може да бъде лесно монтиран и
- осигуряване на информация в реално време.

Сензорът е монтиран на страничния капак на обработващия център, фиг. 4.17.



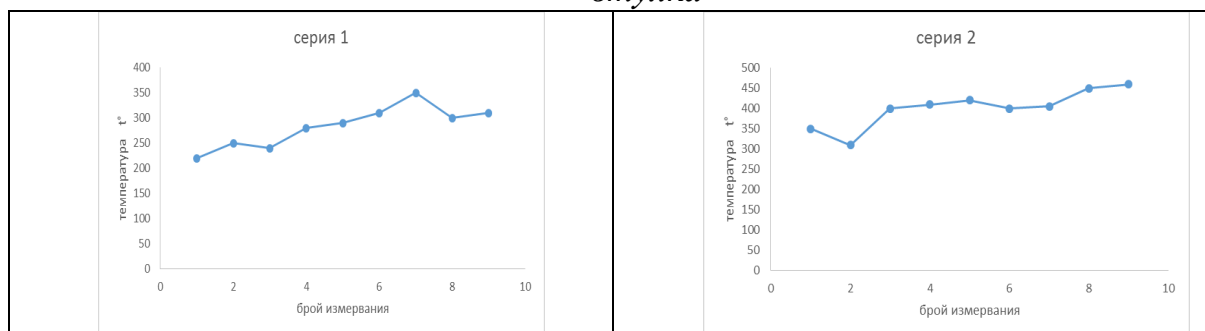
Фиг. 4.17. Положение на температурния сензор на страничния капак

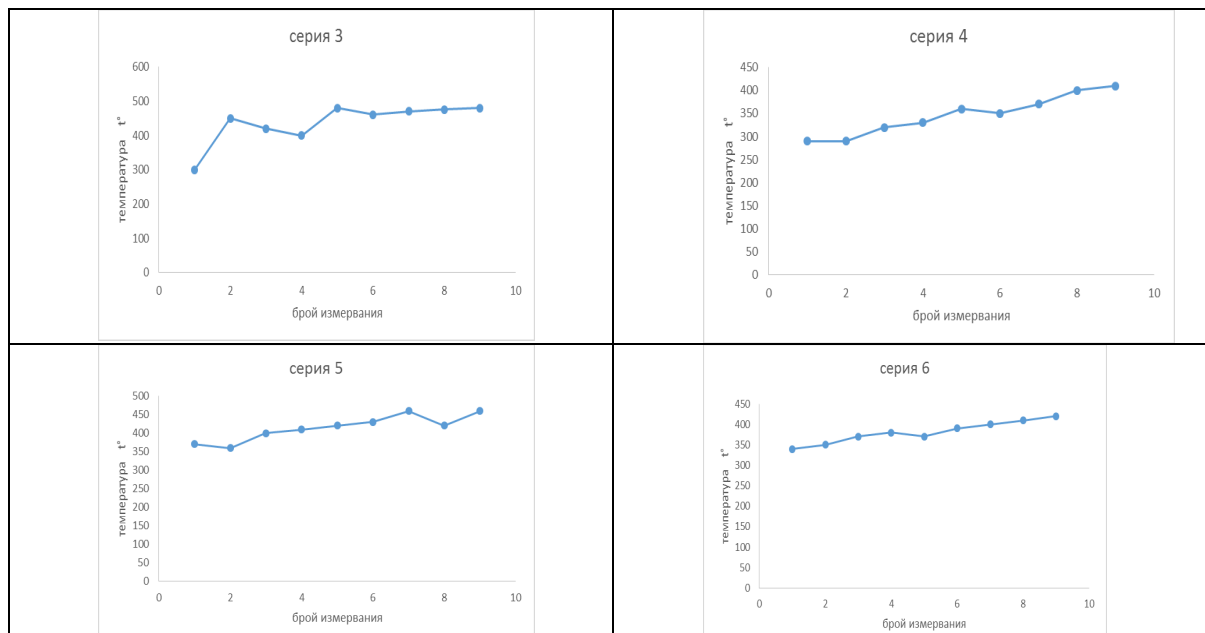
Практически резултати за измерване на температура

Измерванията са направени през интервал от 10 минути. Изработваните детайли са носеща планка, фланец и втулка, фиг. 4.18.



Фиг. 4.18. Стенд за измервания на температурата за планка, фланец и втулка





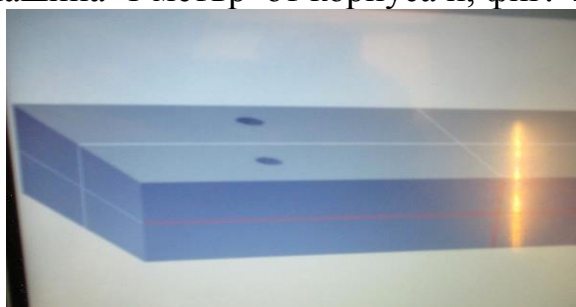
Фиг. 4.19. Измервания на серия на температура на детайл втулка

Резултатите от направените измервания са показани на фиг. 4.19., фиг.4.20. и фиг.4.21. Използваните инструменти са от високолегирани бързорежещи стомани. Резултатите при изработването на детайл фланец са много близо до максимално допустимите за инструментите от този вид, след което намалява износоустойчивостта им и може да доведе до ниско качество и от саморегулиране. При модел на саморегулиране на тези стойности ще се намалят технологичните настройки или ще се смени инструмента (металорежещата машина е с магазин до 20 инструмента).

4. Изследван четвърти показател-шум

Шумът е основен показател за безопасността на работа и сигурността на производствените системи. Според изискванията на стандарт БДС 11655:1989 „Металорежещи машини. Шумови характеристики. Методи за измерване“ за изследване на шумовите характеристики при металорежещи машини за пробивни машини се избира свредло в зависимост от мощността на главното задвижване.

За шумова диагностика за металорежеща машина с мощност 13 kW се използва свредло с диаметър до 25 мм. За пробиването са избрани свредла с диаметър 8 мм и с диаметър 14 мм. Шумомерът е поставен на разстояние от металорежещата машина 1 метър от корпуса и, фиг. 4.22. и фиг. 4.23.



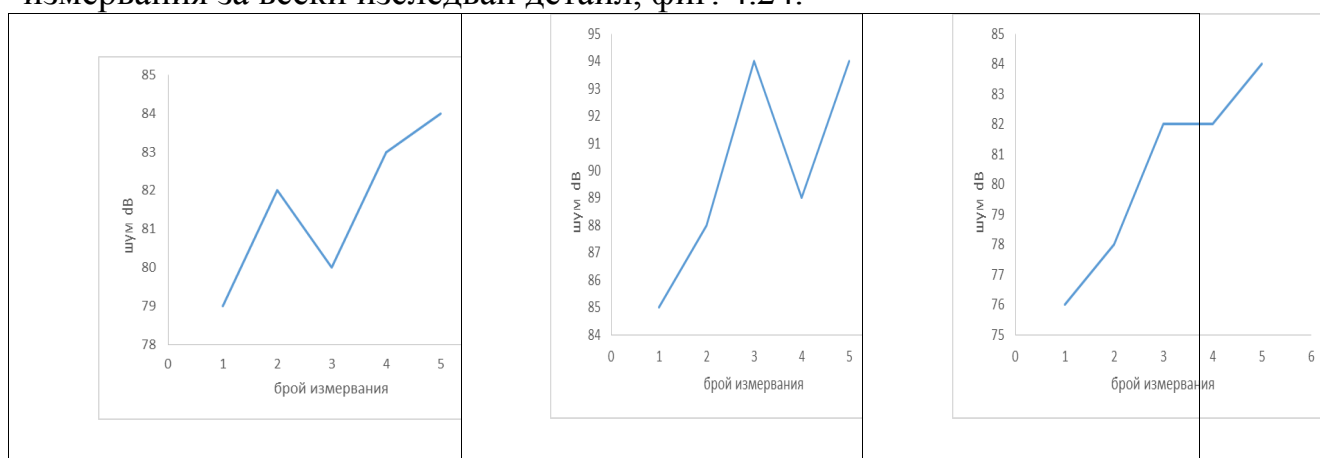
Фиг. 4.22 Обработка със свредла с диаметър 8 мм. и с диаметър 14мм.

Практически резултати от изследване за шум на металорежещи машини



Фиг. 4.23. Измерване на шум на металорежещата машина

Според изискванията на стандарт БДС 11655-89 „Металорежещи машини. Шумови характеристики. Методи за измерване“ са направени пет измервания за всеки изследван детайл, фиг. 4.24.



Фиг. 4.24 Резултати от измервания за шум за детайл: носеща планка, втулка и фланец

Резултатите показаха по-ниски стойности от минимално зададените стойности в стандарта БДС 11655:1989.

5. Връзка между сензорите

Сигналите на сензорите ще бъдат преобразувани чрез невронни мрежи (преобразуватели на сигнал) на основата на модел извършващ оптимизация в реално време и предаващ информация на програмата за планиране на контрол и управление на машината.

Четвърти етап : Присъединителни модели.

Присъединителните модели са софтуерните приложения, които осигуряват оперативната съвместимост на системата, като изискване на ЧИР. Те осигуряват информационната среда или присъединителните модели осъществяват комуникацията машина-машина и машина-човек.

Пети етап : Функционалност на системата

Проверката на функционалността на системата изисква анализ на технико-информационните връзки на създадения хибрид. За целта е използван симулационен софтуер за да се изследва, как ще се саморегулира системата.

Апробация на саморегулирана (гъвкава) програма на софтуерен симулатор.

За апробиране предлагам конвертиране на технологичната програма със софтуерен пакет CNC СИМУЛАТОР ПРО (версия 2.0).

При измерена първа висока температура, автоматично се сменя режещия инструмент, с което се доказва функционалността на системата. На фиг. 4.27. е показано моментното състояние на обработка, преди саморегулиране и на фиг. 4.28. след саморегулиране.

```
G01 X1.535 Z-0.197
G01 Y0.827 Z-0.197
G01 X0.827 Z-0.197
G00 Z0.197
G00 Y2.028
G01 Z-0.394 F500
G01 X1.535 Z-0.394 F300
G01 Y1.732 Z-0.394
G01 X0.827 Z-0.394
G01 Y1.437 Z-0.394
```

Фиг. 4.27. Моментно състояние на технологичната програма, преди саморегулиране

```
G01 X0.827 Z-0.197
G01 Y1.437 Z-0.197
G01 X1.535 Z-0.197
G01 Y1.142 Z-0.197
M6 ET 34
G01 X0.827 Z-0.197
```

Фиг. 4.28. Моментно състояние на технологичната програма, след саморегулиране в реално време

Изводи от приложението на алгоритъма:

- Направените измервания в три кибер- физични системи, само едната отчете високи стойности и се саморегулира, а другите не;
- С това се доказва, че автоматизираните машини имат нужда от саморегулиране и гъвкавост (основни принципи на ЧИР), а в същото време и възможност за влизане в аварийен режим.

4.4. Проверка на адекватността на модел за изследване на връзка на показатели на фирми, внедрили елементи на ЧИР

Апробация на модел за прогнозиране на ефективността на ЧИР

За прогнозиране на ефективността на ЧИР е използван инструментариума на невронните мрежи, върху показателите производителност и контрола на качеството на фирмите.

Анализ на данните

Извадката от данни обхваща период от три години. При построяването на прогнозиращия модел се използват 33 показатели и 4 зависими променливи. Извадката притежава следните характеристики:

- Броят на еталонните ситуации е по-малък от броят на независимите променливи;
- Изследваният период от време е сравнително кратък три години, защото ЧИР е нова концепция.

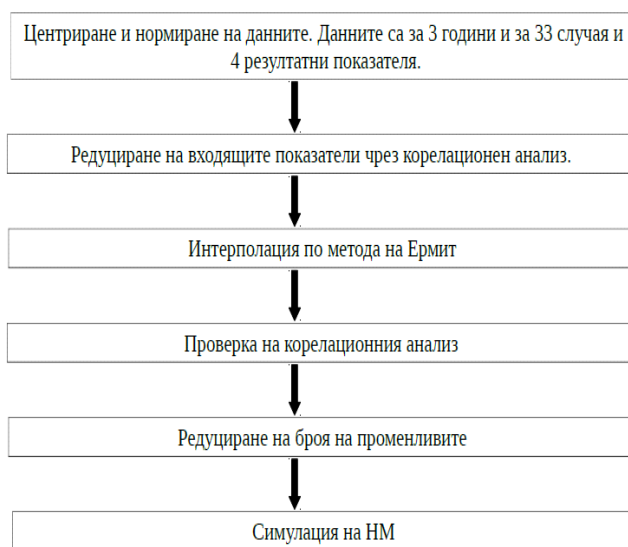
Броят на случаите е три, който е по-малък от размерността на показателите(33).Така поставеният проблем може да се реши чрез намаляване на броя на променливите или увеличаване на броя на случаите..

Алгоритъм за изграждане на модел на НМ

Разработването преминава през следните етапи, както следва:

- Центриране и нормиране на данните;
- Корелационен анализ на данните. Отстраняват се данните,които имат голяма корелация;
- Интерполация по метода на Ермит;
- Корелационен анализ да се прецени,доколко корелацията на данните се запазва след интерполацията;
- АГК на входящите компоненти;
- Симулация на НМ линейна активираща функция.

Етапите на изграждане на НМ са представени на фиг.4.32.



Фиг. 4.32 Етапи за изграждане на НМ

Предварителна обработка на данните

Поради спецификата на данните е необходима предварителна обработка, която е свързана с центриране и нормиране на данните

Центриране и нормиране на данните

Приложението на АГК изисква данните да бъдат центрирани и нормирани. За центриране и нормиране на данните се прилага формулата.

$$X^I = X - X_{\text{арит.}} \quad (4.1)$$

където:

$X_{\text{арит.}}$ е средната аритметична стойност на променливата x ,

X^I е дисперсията, която е резултат на нормирането и става равна на 1.

За нормиране на данните се използва формулата

$$X^{II} = X^I / \sigma \quad (4.2)$$

където:

X^{II} е новата нормирана стойност на променливата,

σ е дисперсията, която е резултат на нормирането и става равна на 1.

Корелационен анализ на данните с цел намаляване на размерността

При провеждане на на АГК е необходимо да бъдат анализирани коефициентите на корелации между показателите и резултатите и да бъдат отстранени тези с висока корелации > 0.85 .

Интерполация на данните

В математическия числен анализ интерполацията е начин за създаване на нови междинни стойности в рамките на даден набор от данни. Интерполацията е специфичен случай на апроксимация, при която функцията трябва да минава през точките от данните.

Изграждане на структура на Невронна мрежа за прогнозиране

При прогнозиране на резултатите може да се използва линейна и нелинейна невронна мрежа за по-оптимална структура. При по-голям набор от данни може да се направи анализ кои вид дава по-малка статистическа грешка по метода на пълзящото изпитване. Предвид динамиката на данните е по-рационално се да се използва линеен модел.

Обучение на невронната мрежа

При работа с НМ обикновено обучаващите данни се разделят в отношение 80 % за обучение и 20 % за тестване.

НМ се обучава с първата част от извадката, след което се тества върху втората част.

Таблица № 4.8

Развитие на технико-икономически резултати

ТЕХНИКО-ИКОНОМИЧЕСКИ ПОКАЗАТЕЛИ	2014 г.	2015 г.	2016 г.
Икономия на производственото и технологичното време	1	0.12	0.25
Управление на качеството	1	0.2	0.25
Гъвкавост	1	0.03	0.1
Оптимизиране на разходите	1	0.2	0.3

След отстраняването на променливите с висока корелация са налице 17 показателя. За теснота на интерполацията се избира $S=1$.

Таблица № 4.10

Данните на изследваните показатели след интерполация

ГОДИНИ/ ПОКАЗАТЕЛИ	
2014 г.	ИЗМЕНЕНИЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ НА ОБОРУДВАЧЕТО СЪС СЪПЪРЖАНИЕ НА РАБОТА
-0.66	ТЕЛНО ИНОВАЦИОННО ОСТАРЯВАНЕ ОТНОСИТЕЛНО ВЪВЕЖДО ВЪВКУ
-0.66	КОНЦЕНТРАЦИЯ НА ТИПОВИ АПЛИКАЦИИ
1	МАШИНИ С УПРАВЛЯВАЩИ УСТРОЙСТВА В 2 D
0.2	МАШИНИ С УПРАВЛЯВАЩИ УСТРОЙСТВА В 3 D
0.36	САМОРЕГУЛИРАЩИ СЕ СИСТЕМИ
0.25	ДЕЦЕНТРАЛИЗАЦИЯ
1	ИНФОРМАЦИЯ В РЕАЛНО ВРЕМЕ
0.3	ТЕХНОЛОГИЧНИ БИЗНЕС ОПЕРАЦИИ В ХОРИЗОНТАЛНА ПОСЛОКА
0.32	ТЕХНОЛОГИЧНИ БИЗНЕС ПРОЦЕСИ ВЪВ ВЕРТИКАЛНА ПОСЛОКА
0.32	НАСОЧЕНИ И РЕКОВИ МОДЕЛИ ЗА СЪВМЕСТНОСТ И КОМУНИКАЦИИ НА ЕЛЕМЕНТИТЕ НА СИСТЕМАТА ВЪВ ВЕРТИКАЛНА И САМО РЕГУЛИРАЩИ СЕ КОМПОНЕНТИ
0.42	ЦЯЛОСТЕН ОБЕМ ИНФОРМАЦИЯ В РЕАЛНО ВРЕМЕ
0.25	КОНФЕДЕНЦИАЛНОСТ НА ИНФОРМАЦИЯТА
0.13	СПЕЦИФИЧНИ ИНФОРМАЦИОННИ ИЗСКЪЛВАНЯ
0.11	ИНФОРМАЦИОННИ СИСТЕМИ С ХОРИЗОНТАЛНО НИВО НА ИНТЕГРАЦИЯ
0.25	СТЕПЕН НА ДИГИТАЛИЗАЦИЯ
0.44	ИКОНОМИЯ НА ПРОИЗВОДИТЕЛНОТО И ТЕХНОЛОГИЧНО ВРЕМЕ
0.29	УПРАВЛЕНИЕ НА КАЧЕСТВОТО
0.12	ГЪБКАВОСТ
0.2	ОПТИМИЗИРАНЕ НА РАЗХОДИТЕ
0.225	
0.03	
0.25	
0.1	
0.3	
0.39	
0.29	
0.8	
0.61	
0.79	
0.25	
0.25	
0.25	
0.065	
0.25	

Корелационният анализ на взаимовръзките не показва промяна в резултатите. От таблиците може да се констатира, че освен константните показатели промяната на другите е до 0.03%, тоест след интерполация данните са в нормални граници. Следващият резултат на АГК е корелацията между отделните компоненти, табл.4.12, като е използван софтуерният продукт SPSS 16.1 (Windows 10).

Матрицата е симетрична, която показва само корелационни коефициенти над 0.5. Големият им брой показва, че те са статистически значими и трябва да участват в анализа, останалите са незначими. От анализа отпадат четири променливи. Високата корелация между променливите позволява да се изпълни прогноза чрез НМ, така се преодолява проблемът, че случаите са по-малък брой от променливите.

Марка за адекватност на извадката според критерия на Бартлет

Тестът за сферичност на Бартлет тества нулевата хипотеза, която гласи, че корелационната матрица е единична матрица. Единичната матрица представлява квадратна матрица, на която главният диагонал е 1, а всички останали са 0, този тест е преминал успешно.

Обща вариация

Следващият резултат на АГК е показан в табл.4.13, която отразява общата вариация на принципните компоненти. АГК е проведен, чрез корелационна матрица, а общата вариация е равна на броя на променливите в този случай е тринадесет.

Обща вариация по АГК

Компонент	Процент от вариацията	Вариация с натрупване %
(1)	(2)	(3)
1	99	99
2	1	100
3	0	100
4	0	100
5	0	100
6	0	100
7	0	100
8	0	100
9	0	100
10	0	100
11	0	100
12	0	100
13	0	100

Резултатите на АГК показват, че първи компонент отчита 99%, а втори 100 % от общата вариация на данните.

Невронна мрежа с линейна активираща функция

Поради високата корелация между променливите и малкият брой години на изследването е най-подходящо да се използва линейна функция за НМ без скрити слоеве и без „учител”. Резултатите от НМ с линейна функция, които показват прогнозни стойности са обработени и показани в Табл. 4.14, Табл. 4.15 и Табл. 4.16.

Таблица № 4.14

Резултати на ниво на техническата система

ПОКАЗАТЕЛИ	ПЕРИОД			
	2014г./бр	2015г./бр	2016г./бр.	2017г./бр
1.Ниво на техническата система и ниво на оборудването (машини, апарати, съоръжения и устройства и др.				
1.1.Физическо изхвърляне				
1.1.1.Изменение на параметрите на оборудването, без изменение на производителността.				
1.1.2. Изменение на параметрите на оборудването, изменение на производителността.	5	7	9	11
1.1.3. Изменение на параметрите на оборудването, със спиране на работа.	3	2	2	1
1.2. Иновационно остаряване.				
1.2.1. Частично иновационно остаряване без оказване влияние върху производителността.	12	14	16	18
1.2.2. Пълно иновационно остаряване, относително влияещо върху производителността	3	2	2	1
1.3. Ниво на елементите на техническата система.				
1.3.1. Конвенционален тип машини.	50	50	50	50
1.3.2. Машини с управляващи устройства в 2 D.	15	18	23	30
1.3.3. Машини с управляващи устройства в 3 D	11	15	18	20
1.3.4. Автоматизирани устройства (степен на автоматизация)	7	9	11	13

1.3.5. Автоматични комплекси.	5	7	9	11
1.3.6. Саморегулиращи се системи	4	5	8	12
1.3.7. Техническа съвместимост (нива на елементите на системата)	7	9	11	13
1.3.8. Базови и свързващи модели	11	15	18	20
2.4. Модули, Комплекси, системи				
2.4.1. Модулна мрежа	5	7	9	11
2.4.2. Комплексна мрежа	5	7	9	11
2.4.3. Системна мрежа	5	7	9	11
2.5. Гъвкавост на системата (гъвкаво адаптиране към променящите се изисквания : замяна, разширяване и др.)	7	9	11	13
2.6. Степен на автоматизация на елементите и компонентите на системата				
2.6.1. CAD/CAM/CAE	11	15	18	20
2.6.2. Вертикална и хоризонтална диверсификация	11	14	17	20
2.6.3. Софтуер / Модели	24	30	36	42
2.7. Оперативна и функционална съвместимост на елементите и компонентите				
2.7.1. Децентрализация	2	4	4	4
2.7.2. Информация в реално време	30	39	45	48
2.8. Хоризонтална и вертикална съвместимост				
2.8.1. Технологични и бизнес операции в хоризонтална посока	25	38	45	52
2.8.2. Технологични и бизнес операции във вертикална посока	25	38	45	52
2.8.3. Насочени мрежови модели за съвместимост и комуникация на елементите на системата в хоризонтална и вертикална посока	24	34	40	43
2.8.4. Саморегулиращи се компоненти (подсистеми) на техническата и производствената система	4	5	8	13

Таблица № 4.15

Резултати на ниво на информационната система

	ПОКАЗАТЕЛИ	ПЕРИОД			
		2014г.	2015г.	2016г.	2017г.
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1.	I. Сигурност и надеждност на системите				
2.	1.1. Информационна среда				
3.	1.1.1. Непрекъснатост на информацията	30	35	41	48
4.	1.1.2. Цялостен обмен на информация в реално време	31	35	43	55
5.	1.1.3. Конфиденциалност на информацията	35	39	45	53
6.	1.1.4. Специфични информационни изисквания	20	25	36	49
7.	1.2. Хоризонтална и вертикална интеграция				
8.	1.2.1. Информационни системи с хоризонтално ниво на интеграция (информация за материален, енергиен, технологичен и др.).	18	26	29	31
9.	1.2.2 Информационни системи с вертикално ниво на интеграция (йерархични нива на управление на производството и техниката).	15	25	38	62
10.	1.3. Софтуерни продукти				

11.	1.3.1. Степен на дигитализация (индивидуални решения, интеграционни модели) във вертикална и хоризонтална посока	14	18	25	35
12.	1.3.2. Други решения	3	6	9	12

Таблица № 4.16

Прогнозни резултати

№	РЕЗУЛТАТИ	ПЕРИОД			
		2014 г. (база)	2015г. %	2016г. %	2017г. %
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1.	Икономия на производственото и технологичното време	1	0.12	0.25	0.37
2.	Управление на качеството	1	0.2	0.25	0.3
3.	Гъвкавост	1	0.03	0.1	0.15
4.	Оптимизиране на разходите	1	0.2	0.3	0.4

Предложеният модел изпълнява изискванията на ЧИР;

- Чрез модела се отчитат важни и релевантни за успеха от внедряване на компоненти на ЧИР показатели;
- Предложеният модел за показатели на ЧИР демонстрира стабилност на резултатите;
- НМ може да се използва с изчислените синапси във всяка една фирма с други стойности, за да се анализира и прогнозира ефективността на ЧИР.

Изводи от глава четвърта.

Общи изводи

1. Апробиране на методики за изследване на техническата и информационната и организационната среда в машиностроителни фирми у нас.
2. Разработен и експериментиран е алгоритъм за избор на хибрид, отговарящ на изискванията на ЧИР.
3. Предложен е модел за избор на машина (хибрид), която с помощта на сензори се саморегулира, което е изискване на ЧИР.
4. Изследвани са четири показатели, които имат най-голям дял за стабилността на техническата система на машината хибрид.
5. Разработен и апробиран е модел за изследване на връзките между показатели на фирми, внедрили елементи на ЧИР.
6. Експериментиран е модел за прогнозиране с използване на невронна мрежа за определяне на ефективността на ЧИР. Експерименталният модел на НМ може да се използва във всички сектори в които навлиза ЧИР.

Изводи от апробацията

1. Извършена е частична апробация на методиките за изследване на техническата, информационната и организационна среда в машиностроителни фирми в Р.България.
2. Извършена е апробация на модела за изследване на връзките, между тези показатели и неговото практическо приложение в хибридно решение.

НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. На базата на направеното аналитично изследване на ЧИР е доказано, че тя се превръща в основен приоритет за много изследователски центрове, университети и фирми.

2. Изследвано и доказано е, че за привеждане на конвенционалната технология към изискванията на ЧИР е необходимо използването на стратегически решения с формулирана методология на изискванията за приложение на принципите на ЧИР. На тази база е предложен методичен подход за привеждане на конвенционалните системи към изискванията на интелигентното производство в контекста на ЧИР. Установено е че въвеждането и, изисква създаването на условия за оперативна съвместимост, виртуализация, децентрализация, информация в реално време, ориентация към услуги и модулност.

3. Разработен и предложен е концептуален модел и алгоритъм на привеждане на конвенционалните производствени системи към интелигентните системи. Моделът включва избор на структура на кибер физичната система, избор на компоненти и присъединителни модели, осигуряващи функционалността на системата. Изследвани са връзките между отделните показатели в контекста на ЧИР. Разработен е модел за прогнозиране и оценка на ефективността на основата на интелигентни невронни мрежи.

4. Определени са основните технологични, информационни и организационни изисквания за приложение на ЧИР в машиностроенето. . Определени и предложени са използвани за стандартизиране и унификация на детайли, възли, продукти и дейности в дефинирани от ЕС приоритетни области. Разработена и експериментирана е методика за изследване на техническата, информационната среда и организационната среда в машиностроителни фирми у нас. Разработен и експериментиран е алгоритъм за избор на хибрид, отговарящ на изискванията на ЧИР.

ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. Предложен е модел за избор на машина (хибрид), който с помощта на сензори се саморегулира, което е изискване на ЧИР. Изследвани са четири показатели, които имат най-голям дял за стабилността на техническата система на машината хибрид. Моделът е с практическа приложимост.

2. Разработен и апробиран е модел за изследване на връзките между технически показатели на фирми, внедрили елементи на ЧИР. Моделът е с практическа приложимост.

3. Експериментиран е моделът за прогнозиране на техническата ефективност с използване на невронна мрежа за определяне на ефективността на ЧИР. Експерименталният модел на НМ може да се използва във всички сектори в които навлиза ЧИР.

СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

I. СТАТИИ В НАУЧНИ СПИСАНИЯ

1. K.Chukalov (2016) Role of the human factor in the fourth industrial revolution. International Journal for Science and Innovations for the Industry, ISSN 1314-8907 pp.31-32.

II. ДОКЛАДИ НА НАУЧНИ КОНФЕРЕНЦИИ

2. Дамянов, Д., К.Чукалов (2016): Подходи и последователност на приложение на принципите на четвъртата техническа революция в индустрията, XXV международна научно-техническа конференция Автоматизация на Дискретното Производство“ АДП – 2016”, ISSN-1310-3946, стр.353-359

3. Дамянов, Д., Т. Гешев, К.Чукалов (2016): Кибер-физичните системи, основа на четвъртата индустриална революция, XXV международна научно-техническа конференция Автоматизация на Дискретното Производство“ АДП – 2016”. ISSN-1310-3946, стр.340-346

4. Damianov, D., K.Chukalov, (2016): Structural reorganization in the informational - technical system of a production machine (hybrid) for operating in the Industry 4.0, International Scientific Conference, “INDUSTRY 4.0”, Proceeding XXIV, Volume 27/213, ISSN 1310-3946, P.42-46

5. К.Чукалов (2017): Подход за изграждане на производствена машина (хибрид) за работа в условията на „Индустрии 4.0“, XXVI международна научно-техническа конференция Автоматизация на Дискретното Производство“ АДП – 2017”. ISSN-1310-3946, стр. 346-348.

6. K.Chukalov,(2017): Horizontal and vertical integration, as a requirement for cyber-physical systems in the context of Industry 4.0, International Scientific Conference, “INDUSTRY 4.0” (под печат)

БЛАГОДАРНОСТИ

Изказвам своята благодарност на научните ми ръководители проф. д-р инж. Димитър Дамянов и доц. д-р Тотю Гешев за помощта, съветите и компетентното ръководство при разработването на дисертационния труд.

Благодаря на деканското ръководство на МТФ и всички колеги от катедра „ТМММ“ при ТУ София за оказаното съдействие.



TECHNICAL UNIVERSITY OF SOFIA
FACULTY OF MACHINE TECHNOLOGY
Department of Technology of Machine Building
and Metal Cutting Machines

KONSTANTIN STEFANOV CHUKALOV, ENG.

POSSIBILITIES TO ADAPT
THE MACHINE BUILDING TECHNOLOGIES
TO THE REQUIREMENTS OF
THE FOURTH INDUSTRIAL REVOLUTION

SUMMARY OF PH.D. THESIS

In this PhD research has been explored essence of principles, characteristics and approaches for Industry 4.0. On this basic was explored and proven that a transfer from conventional technologies to meet new demands can happen only using strategic solutions with exact methodology to cover an application of principles. It has been suggested a methodological approach supporting the conventional technologies to meet the requirements of smart manufacturing in a context of Industry 4.0.

It has been established a need of developed conditions for operational compatibility, virtualization, decentralization, real-time information, service orientation and modularity. It has been created a conceptional model and algorithm to transfer the conventional production systems to intelligent systems. The model contains a selection of a CPS structure, components and accessional models ensuring system functionality.

It has been explored correlations between individual indicators. It has been created a model for forecasting and evaluation of efficiency on the base of neural networks. The models have been tested in production companies and can be used in every business sector where Industry 4.0 enters.