



# **ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ – СОФИЯ**

---

**Стопански факултет  
Катедра „Икономика, индустриален инженеринг и  
мениджмънт“**

**Маг. инж. Зияд Мохаммед Абдуламир**

**„ИЗСЛЕДВАНЕ И ОЦЕНКА НА ПРИЛОЖЕНИЕТО НА  
КОНЦЕПЦИЯТА „ДИГИТАЛНИ БЛИЗНАЦИ“ ЗА ПОВИШАВАНЕ  
НА ЕФЕКТИВНОСТТА НА ВЕРИГАТА НА ДОБАВЕНАТА  
СТОЙНОСТ“**

## **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: 5.13 Общо инженерство  
Научна специалност: Организация и управление на производството

**Научни ръководители:**

**Проф. д-р инж. Огнян Андреев**

**Доц. д-р инж. Наталия Колева**

СОФИЯ, 2026 г.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита от Катедрения съвет на катедра „Икономика, индустриален инженеринг и мениджмънт“ към Стопански факултет на ТУ-София на редовно заседание, проведено на 9.02.2026 г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 09.06.2026 г. от 15.00 часа в Конферентната зала на БИЦ на Технически университет – София на открито заседание на научното жури, определено със заповед № ОЖ-5.13-05 / 23.02.2026 г. на Ректора на ТУ-София в състав:

1. Проф. д-р Йорданка Ангелова – председател
2. доц. д-р Ина Николва - Ян – научен секретар
3. Проф. д-р Пламен Павлов
4. Проф. д-р Красимир Кръстанов
5. Доц. дн Веселин Митев

Рецензенти:

1. Проф. д-р Йорданка Ангелова
2. Проф. д-р Пламен Павлов

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Стопански факултет на ТУ-София, блок №, кабинет № 3235.

Дисертантът е редовен докторант към катедра „Икономика, индустриален инженеринг и мениджмънт“ на Стопански факултет. Изследванията по дисертационната разработка са направени от автора.

Автор: **маг. инж. Зияд Мохаммед Абдуламир**

Заглавие: **„Изследване и оценка на приложението на концепцията „дигитални близнаци“ за повишаване на ефективността на веригата на добавената стойност**

Тираж: 30 броя

Отпечатано в ИПК на Технически университет – София

# I. ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

## Актуалност на проблема

Актуалността на разглеждания изследователски проблем се обуславя от ускорения преход към концепцията за Индустрия 4.0 и от нарастващата необходимост предприятията да трансформират традиционните структури на веригата на стойността в интелигентни, интегрирани и ориентирани към данни системи. С увеличаването на сложността, фрагментацията и податливостта на производствените среди към неефективност и оперативни смущения, преобладаващите подходи към дигиталната трансформация често остават концентрирани върху постигането на отделни резултати, без да бъдат стратегически интегрирани по цялата верига на добавената стойност. Това ограничава реалната икономическа ефективност на направените технологични инвестиции и възпрепятства постигането на устойчива дългосрочна конкурентоспособност. В този контекст концепцията за дигитален двойник (Digital Twin, DT) представлява съвременен и перспективен подход, който осигурява синхронизация в реално време между физическите и дигиталните системи, възможности за усъвършенствано моделиране и симулация, предиктивен анализ и непрекъсната оптимизация на процесите в областта на снабдяването, производството, логистиката и сервизното обслужване.

Въпреки доказаните предимства от прилагането на дигитални двойници в области като строителството, здравеопазването и автомобилостроенето, тяхното систематично внедряване във веригите на стойността, и по-специално по отношение на интеграцията на снабдителните мрежи и повишаването на оперативната ефективност „от край до край“, остава недостатъчно изследвано както в теоретичен, така и в емпиричен аспект. Анализът на съществуващата научна литература показва фрагментарен характер на внедряването, липса на цялостни стратегически рамки и отсъствие на комплексни модели, които да обвързват функционалните възможности на дигиталния двойник с показателите за ефективност на веригата на стойността. Настоящото изследване е насочено към преодоляване на тези ограничения чрез разглеждане на дигиталния двойник като базова инфраструктура за хоризонтална и вертикална интеграция, използване на данни в реално време, подпомагане на интелигентното вземане на решения и дългосрочна оптимизация на производствените и логистичните процеси в рамките на индустриалните екосистеми.

Актуалността на изследването се засилва допълнително в контекста на ОАЕ и региона на Съвета за сътрудничество в Персийския залив (GCC), където значителни инвестиции в дигитална инфраструктура се съчетават с начален етап на внедряване на технологии за дигитален двойник във веригите на стойността в производствения сектор. Въпреки високата степен на технологична готовност на тези икономики, ограниченият обем на емпирични изследвания, недостатъчното организационно и управленско разбиране, както и липсата на утвърдени стратегически модели за внедряване, възпрепятстват пълното реализиране на потенциала на дигиталните двойници. Това обуславя необходимостта от целенасочени научни изследвания, които да идентифицират ключовите фактори за внедряване, съществуващите бариери, институционалните предпоставки и измеримите ефекти върху ефективността при прилагането на технологии за дигитален двойник в индустриална среда.

От научна гледна точка изследването допринася за задълбочаване на интердисциплинарната интеграция между теорията на дигиталната трансформация, институционалната теория, кибер-физичните системи и управлението на веригата на стойността. В практико-приложен аспект резултатите от изследването пре-

доставят емпирично обосновани насоки за предприятията и органите, отговорни за формирането и прилагането на публични политики, насочени към повишаване на ефективността, устойчивостта и конкурентоспособността чрез внедряване на интелигентни производствени системи. В социално-икономически аспект изследването подпомага оптимизацията на използването на ресурсите, намаляването на отпадъците, повишаването на устойчивостта на индустриалните системи към външни и вътрешни смущения, както и постигането на дългосрочен индустриален растеж. В резултат на това изследването на въздействието на технологиите за дигитален двойник върху ефективността на веригата на стойността се явява актуално и необходимо за развитието на съвременната индустриална стратегия и устойчивото икономическо развитие.

**Обект на изследване в дисертационния труд:** Веригата на стойността на индустриалните предприятия.

**Основен изследователски въпрос:** Как прилагането на концепцията за дигитален двойник влияе върху ефективността на веригата на стойността?

## **ЦЕЛ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД, ОСНОВНИ ЗАДАЧИ И МЕТОДИ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ**

**Целта на дисертационния труд е да се анализира и оцени въздействието от прилагането на анализа на стойността и концепцията за дигитален двойник (Digital Twin, DT) върху ефективността на веригата на стойността на индустриалните предприятия.**

За постигане на поставената цел са формулирани за изпълнение следните основни задачи:

**1.15.1** Анализ на съществуващите теоретични и приложни подходи за внедряване и интеграция на концепцията за дигитален двойник в процесите на веригата на стойността.

**1.15.2.** Разработване на интегриран модел за оценка и внедряване на дигитален двойник във веригата на стойността с цел повишаване на ефективността на процесите, включително методи за мониторинг и управление. Основният изследователски въпрос, свързан с разработения модел, е: *По какъв начин прилагането на анализа на стойността влияе върху ефективността на веригата на стойността?* От този въпрос произтичат следните подизследователски въпроси:

**1.15.2.1.** Какво е равнището на прилагане на концепцията за дигитален двойник (анализ на данни) за повишаване на ефективността на веригата на стойността?

**1.15.2.2.** Какво е равнището на прилагане на концепцията за дигитален двойник (изпълнителни механизми) за повишаване на ефективността на веригата на стойността?

**1.15.2.3** Какво е равнището на прилагане на концепцията за дигитален двойник (интеграция) за повишаване на ефективността на веригата на стойността?

**1.15.2.4** Какво е равнището на прилагане на концепцията за дигитален двойник (информационно осигуряване) за повишаване на ефективността на веригата на стойността?

**1.15.3** Разработване на рамка за анализ на приложимостта на предложения модел и за валидиране на неговите ключови променливи.

**1.15.4.** Тестване и оценка на разработените методически инструменти.

С цел изпълнение на поставените задачи в настоящото изследване са приложени както качествени, така и количествени изследователски методи. Използвани

са вторични данни от научни разработки, както и първични данни, събрани чрез одобрена анкета, включваща петстепенна Ликертова скала. Изследването обхваща всички заинтересовани страни в производствения сектор на ОАЕ, като за събиране на отговорите е използвана случайна извадка. Анализът на данните е извършен чрез софтуера **SPSS** върху структурирания въпросник, като е предвидено също сравнение между арабската и английската версия на въпросника с цел постигане на консистентност и надеждност на резултатите.

### **Научна новост**

Научната новост на дисертационното изследване се изразява в използването на концепцията за дигитален двойник (Digital Twin, DT) за **разработване на интегрирана концептуална рамка**, която позволява широкомащабното внедряване на дигиталния двойник в производствения сектор на ОАЕ, който е с ограничено емпирично изследване в условията на икономики в развитие. За разлика от повечето предишни изследвания, насочени към отделни приложения на дигиталния двойник (например предиктивна поддръжка или оптимизация на единични етапи), предложената рамка е ясна в своите четири взаимнозависими компонента – анализ на данни, изпълнителни механизми, интеграция на системите и обединение на информацията на предприятието, които са внедрени в унифицирана структура, обхващаща етапите на снабдяване, производство, транспорт и доставка. Значението на този холистичен подход се състои в това, че той запълва критично важна празнина в литературата, като разглежда веригата на стойността като комплексна система, а не като набор от функции, работещи независимо една от друга. Моделът представя последователен процес на причинно-следствени връзки, който демонстрира как: *резултатите от анализа на данни в реално време водят до точни оперативни изводи; виртуалните прогнози се преобразуват в физически действия чрез изпълнителните механизми; информационните силози се премахват чрез системна интеграция; информационното обединение позволява формиране на интелигентни и адаптивни управленски решения.* Комбинацията от смесен метод на изследване – количествено проучване сред специалисти от производствения сектор на ОАЕ и качествено усъвършенстване чрез фокус групи – позволява емпирична валидация, която до този момент е била относително ограничена, особено за региона на Персийския залив. Допълнителна научна стойност представлява измерването на общия синергичен ефект на четирите ключови компонента, като е демонстрирано, че тяхната взаимозависимост осигурява по-висока ефективност от прилагането на всеки от компонентите поотделно. Откритието се базира на съществуващата теория за дигиталния двойник и кибер-физичните системи, като предоставя многоизмерна, възпроизводима рамка, специфична както за институционалната, така и за оперативната реалност на производствения сектор в ОАЕ. Визията за внедряване, изградена върху тествания модел, дефинира какви ресурси са необходими – технологични, човешки, организационни, финансови и регулаторни – и как съществуващите бариери могат да бъдат преодолени. По този начин се преодолява пропастта между теория и практика, което позволява масово и мащабно прилагане на концепцията за дигитален двойник. Като цяло, изследването допринася за научното знание чрез запълване на пропуските, свързани с фрагментираните приложения на дигиталния двойник, липсата на интегрирани модели на ключовите компоненти, ограничените емпирични модели, специфични за ОАЕ, както и недостатъчния анализ на дългосрочните ефекти върху ефективността на веригата на стойността. Дисертационното изследване постига това чрез своите приноси, като предлага не само теоретичен напредък, но и практически решения, насочени към реализиране на устойчиви на смущене

ния и конкурентоспособни вериги на стойността в контекста на производствени системи, ориентирани към Индустрия 5.0.

### **Практическа приложимост**

Практическата приложност на предложения модел на верига на стойността с дигитален двойник (Digital Twin, DT) се потвърждава от ясно формулирания, поетапен процес на внедряване, който директно адресира идентифицираните слабости на производствения сектор в ОАЕ, свързани с неефективностите. Моделът позволява на организациите да демонстрират стойността на дигиталния двойник при минимален риск чрез стартиране на пилотни проекти, както е наблюдавано в реални случаи като развитието на Dutco Tennant и Nakheel Mall, както и да генерират измерими ползи (обикновено 15–20% намаление на разходи, отпадъци и дефекти в качеството чрез симулация в реално време, предиктивна аналитика и оптимизация на процесите) и да спечелят доверието на заинтересованите страни преди масово внедряване. Предложеният поетапен подход не само представлява бърз метод за демонстрация на възвръщаемост на инвестициите (ROI), но и е напълно съобразен с Vision 2031 на ОАЕ и националната стратегия за Индустрия 4.0, като използва съществуващите платформи за дигитален двойник, инструменти за управление на риска, управлявани чрез изкуствен интелект, подобрява свързаността на системите и позволява използването на съществуващите правителствени стимули за създаване на устойчива, иновативна и устойчива на смущения производствена екосистема. Пилотно-ориентираният подход, който е централният фокус на модела, прави внедряването приложимо за организации с различен размер и технологично ниво, като минимизира оперативните смущения и осигурява максимални ранни резултати по отношение на ефективността и конкурентоспособността. Рамката преобразува теоретичните възможности на дигиталния двойник в практически, контекстуализирани резултати, които в дългосрочен план ще подпомогнат икономическата диверсификация и постигането на цели за устойчивост в ОАЕ.

### **Апробация**

Апробацията от гледна точка на приложимостта е извършена чрез научна експертиза и полево одобрение. Фокус група, съставена от седем представители на индустрията на голям емиратски индустриален обект, обсъди релевантността на модела, оценявайки съответствие, приложимост, жизнеспособност и мащабируемост, като същевременно отбеляза възможности за подобрения, включително въвеждане на ключови показатели за ефективност (KPI), обучение и пилотно тестване. Широките политически препоръки, подкрепени със статистически данни ( $R^2 = 43,7\%$  общо;  $71\%$  за анализа на данни) и сравнения с модели от литературата (например Nada и Dawood, 2022; Mohammed et al., 2024), получиха експертно одобрение за поетапно внедряване с възможност за бъдещо разширение към сектори като нефтодобив, фармацевтика и авиация.

### **Публикации**

Основни постижения и резултати от дисертационния труд са публикувани в 3 научни публикации, които са индексирани в SCOPUS.

### **Структура и обем на дисертационния труд**

Дисертационният труд е в обем от **173** страници, като включва въведение, 4 глави за решаване на формулираните основни задачи, списък на основните приноси, списък на публикациите по дисертацията и използвана литература. Цитирани са общо **175** литературни източници. Работата включва общо **38** фигури и **26** таблици. Номерата на фигурите и таблиците в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

## II. СЪДЪРЖАНИЕ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

### ГЛАВА 1. МЕТОДОЛОГИЧНА РАМКА И СТРУКТУРА НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Първа глава установява методологичната рамка, теоретичните основи и логическата структура на дисертационния труд. Тя дефинира изследователския проблем, произтичащ от ограниченото и фрагментирано прилагане на концепцията за дигитален двойник (Digital Twin, DT) с цел повишаване на ефективността на веригата на добавената стойност (VC), особено в рамките на производствения сектор на Обединените арабски емирства. Глава първа се базира на разбирането, че веригата на добавената стойност е динамична система, чието ниво на ефективност зависи от степента на технологична, информационна и организационна интеграция между отделните ѝ етапи. Въпреки че инициативите за дигитална трансформация, свързани с концепцията за Индустрия 4.0, значително разширяват използването на напреднали технологии, съществуващите подходи често поставят приоритет на краткосрочни резултати, а не на стратегическо и системно внедряване. Този фокус върху изходните резултати често води до неефективно разпределение на ресурсите и неподоптимална възвръщаемост на инвестициите в дигитални решения. В този контекст технологията на дигиталния двойник се представя като ключов инструмент за взаимодействие в реално време между физическите активи и техните виртуални еквиваленти чрез двустранен обмен на данни. Глава първа разглежда още еволюцията, дефинициите, характеристиките и основните компоненти на технологията на дигиталния двойник, като акцентира върху нейната роля в мониторинг, симулация, предсказване и оптимизация на индустриалните процеси. Дигиталният двойник се изследва като инструмент, способен да подпомага вземането на управленски решения и координацията на операциите по цялата верига на добавената стойност – от проектиране и производство до логистика, поддръжка и обслужване. Съществена част от този раздел е посветена на теоретичната рамка, върху която се основава изследването. Институционалната теория се използва за обяснение на организационния и външния натиск, който влияе върху приемането на технологии за дигитален двойник. Принудителният, нормативният и имитативният натиск се разглеждат като ключови фактори, формиращи решенията на фирмите в контекста на дигиталната трансформация. Тези теоретични перспективи се допълват от теорията на дигиталния двойник, теорията за кибер-физичните системи, инженерството на системите, базирано на модели (Model-Based Systems Engineering, MBSE), и семантичното моделиране, които заедно предоставят технологичната и инженерната основа за разбиране на това как системите за дигитален двойник се проектират, внедряват и интегрират през целия им жизнен цикъл. В тази първа глава се изследва концепцията за веригата на добавената стойност (VC), като се очертават нейните основни компоненти и стратегическото ѝ значение за конкурентоспособността на производството. Особено внимание се отделя на връзката между дигиталния двойник и веригата на добавената стойност, като се подчертава потенциала на технологиите на DT за повишаване оперативната прозрачност, оптимизиране използването на ресурси, намаляване разходите и подобряване на гъвкавостта и устойчивостта на производствените системи. Въз основа на комплексен преглед на литературата. В първа глава, също така се идентифицират някои нерешени задачи и изследователски пропуски – фигура 1-13-1. Въпреки че технологиите на дигиталния двойник са били прилагани за повишаване на ефективността, оптимизация на процесите и намаляване на времето за излизане на пазара в сектори като строителство, автомобилостроене и здравеопазване, тяхното приложение в рамките на по-широкия контекст на веригата на добавената стойност остава недостатъчно проучено. Съществуващите практики за дигитална

трансформация обикновено поставят акцент върху постигането на конкретни резултати, а не върху стратегическото внедряване, което води до неефективни инвестиционни решения и фрагментирано прилагане на технологиите. Освен това не съществува цялостен модел, който да интегрира технологията на дигиталния двойник с анализ на стойността за подобряване на ефективността на веригата на добавената стойност, нито е ясно до каква степен трябва да се използва дигиталния двойник в областите на анализ на данни, изпълнителни механизми, системна интеграция и информационен поток.

#### Нерешени задачи (Изследователски пропуски)

1. Съществуващите методи за дигитален двойник не разполагат с ясна стратегия за интеграция във веригата на добавената стойност (VC), фокусират се повече върху дигиталните резултати, отколкото върху структурното внедряване.
2. Не съществува модел, който да комбинира анализ на стойността + дигитален двойник за подобряване на ефективността на веригата на добавената стойност, оставяйки концептуални и методологически пропуски.
3. Степента на прилагане на дигиталния двойник – анализ на данни, интеграция и информационен поток – не е била измервана в рамките на веригата на добавената стойност в предишни изследвания.
4. Дългосрочният ефект на дигиталния двойник върху ефективността на веригата на доставки и веригата на добавената стойност остава неясен, особено що се отнася до намаляване на разходите и въглеродния отпечатък.
5. Изследванията на дигиталния двойник в рамките на Съвета за сътрудничество на страните от Персийския залив (GCC) все още са ограничени, особено в производствения сектор, въпреки наличието на висока дигитална готовност.

#### Фигура (1-13-1) Нерешени задачи (Изследователски пропуски)

В отговор на идентифицираните изследователски пропуски, главата формулира основната цел на дисертацията, изследователските задачи и хипотезите на изследването. Тези елементи осигуряват кохерентна концептуална и методологична основа за последващите глави, които се фокусират върху разработването и емпиричната валидация на интегриран модел за прилагане на технологията на дигиталния двойник с цел повишаване на ефективността на веригата на добавената стойност в производствените предприятия.

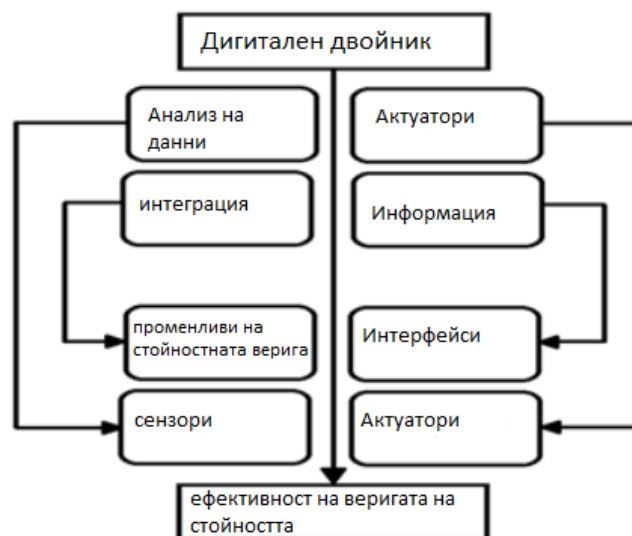
## ГЛАВА 2. АНАЛИЗ НА ОБЗОРА И ИЗГОТВЯНЕ НА КЛАСИФИКАЦИЯ

В тази глава изследователят се фокусира върху втората задача на дисертационния труд, която има за цел да дефинира теоретичната рамка на интегриран модел, предназначен за оценка и прилагане на концепцията за дигиталните двойници във веригата на стойността. Във втория параграф е представена концептуализацията на интегрирания модел – раздел 2.1.1. Предложеният изследователски модел се базира на Институционалната теория, която предоставя цялостна концептуална рамка за обяснение на причините, поради които организациите възприемат напреднали дигитални технологии. В контекста на производствения сектор в ОАЕ дигиталната трансформация се обуславя в по-малка степен от чисто техническа модернизация и в по-голяма степен от нормативен натиск и национални стратегически визии, като инициативи, съгласувани с концепцията за „Индустрия 4.0“. Институционалната теория е особено подходяща в този случай, тъй като обяснява как индустриалните предприятия се стремят към леги-

тимност и конкурентно предимство чрез съобразяване с външен натиск, включително държавни регулации, отраслови стандарти и обществени очаквания. Това гарантира, че моделът е контекстуално обоснован и отразява по-широката организационна екосистема, в която управлението, културата и регулаторните механизми оказват влияние върху внедряването на Дигитални Двойници. С цел трансформиране на тази организационна среда в техническа реализация, изследователят интегрира Теорията на дигиталния двойник и Системно инженерство, базирано на модели (Model-Based Systems Engineering – MBSE) към този модел. Теорията за дигиталния двойник установява принципа на огледално представяне, при който физически активи — като машини, производствени линии и други ресурси — се репликират във виртуална среда посредством сензори и задвижващи механизми. Въпреки това, сложните индустриални вериги за създаване на стойност изискват повече от обикновено събиране на данни; поради тази причина MBSE се използва за осигуряване на структурирана и интегрирана системна архитектура. Третият и най-съществен концептуален слой интегрира семантично моделиране и онтологична рамка, които осигуряват интелигентност на системата. Този слой адресира семантичната оперативна съвместимост, като позволява на системата да интерпретира големи обеми необработени сензорни данни в зависимост от контекста и потребностите. Чрез използване на онтология, ориентирана към решаване на проблеми, моделът свързва физическите събития с тяхното оперативно значение. В обобщение, предложеният модел е теоретично и концептуално обоснован на всяко ниво. Принудителният натиск произтича основно от федерални инициативи като UAE Vision 2031 и Dubai Industrial Strategy 2030. Нормативният натиск се обуславя от международни стандарти, като например ISO 23247 за дигитални двойници. Успешното внедряване на дигитален двойник осигурява когнитивна, прагматична и морална легитимност. Системното инженерство, базирано на модели (MBSE) се реализира чрез използване на езика за системно моделиране SysML. Семантичната оперативна съвместимост се постига чрез онтология, разработена на базата на OWL 2 DL, съгласувана със съществуващите стандарти. В раздел (2.1.1.1) е разгледано свързването на променливите, характеризиращи дигиталните двойници, с ефективността на веригата на стойността, което е основата на предложения интегриран модел. На практика чрез него създаването на стойност се описва като резултат от дигитално улеснен анализ на данни, системна интеграция, актуация и информационна прозрачност между дейностите във веригата за стойност (Value Chain – VC). Измеренията на дигиталния двойник не функционират като автономни елементи, а в комбинация обработват, интерпретират и предприемат действия върху данните на системата.

Освен това, процесът на интеграция се подсилва чрез непрекъснатата връзка между сензорите и променливите на веригата за стойност. Следователно ефективността на веригата на стойността вече не се основава на фиксирани предположения, а на актуализирани състояния на системата. Дигиталният двойник създава информация като централно координиращо измерение, което обединява анализа, интеграцията и актуацията в постигането на ефективност на веригата за стойност. Високата степен на интеграция на модела се изразява в неговата затворена логика, при която сензиране, анализ, вземане на решения и актуация са взаимосвързани и всички са насочени към ефективността на веригата за стойност. По този начин дигиталният двойник не просто подпомага веригата на стойността като външен инструмент, а представлява структурен компонент на процеса на създаване на стойност.

Моделът може да бъде допълнително илюстриран чрез визуална демонстрация, придружена от кратък преглед на основните компоненти на дигиталния двойник и ефективността на веригата са стойност както следва – фигура 2-1-1-1:



Фигура (2-1-1-1): Интегриран модел на изследването,  
Източник: (Изготвено от изследователя)

### 1. Дигитален двойник (Digital Twin – DT)

- В центъра на модела е поставен **дигиталният двойник**, като основа на концепцията.
- Следват четири основни компонента:
  - **Анализ на данни (Data Analysis)** – обработка и анализ на данни от физическата система.
  - **Актуатори (Actuators)** – механизми, които извършват действия според нуждите на системата.
  - **Интеграция (Integration)** – свързване на различни компоненти на системата за координирана работа.
  - **Информация (Information)** – генериране на знания и прозрения за вземане на решения.

2. **Ефективност на веригата за стойност (VC Efficiency)** - Дигиталният двойник допринася пряко за ефективността на Виртуалната комисия (Virtual Commissioning – VC), която измерва ефективността на симулацията и оптимизацията на системите преди физическата им реализация.

### 3. Обратни връзки (Feedback Loops)

- Сензори (Sensors) (Събиране на данни) – събират данни за операциите на системата.
- Променливи на VC (Оперативни показатели) (VC Variables) – данните от сензорите се трансформират в показатели, които отразяват представянето на системата.
- Тези два елемента взаимодействат в обратна връзка, за да се наблюдава и подобрява постоянно ефективността.
- Актуатори (Изпълнители на действия) – извършват действия в физическата или симулираната система.
- Интерфейси (Взаимодействие със системата) – актуаторите работят чрез интерфейсите, за да взаимодействат със системата.
- Тези два елемента също взаимодействат в цикъл, за да се осигури правилен контрол и изпълнение на действията.

В обобщение, интегрираният модел от фигура 2-1-1-1 на изследването показва как рамката на дигиталния двойник (DT) подобрява ефективността на VC. DT се състои от четири основни елемента – анализ на данни, актуатори, интеграция и информация – които подпомагат по-прецизна симулация на системата и вземане на решения. Тези елементи допринасят за ефективността на VC, която също зависи от два подсистемни компонента: сензори и актуатори. Сензорите се използват за събиране на данни и генериране на оперативни променливи на VC, а актуаторите изпълняват действия и взаимодействат с интерфейсите на системата. В раздел 2.1.2 е представена структурата и основните променливи на предложени интегриран модел, като по-подробно е обяснено карто-графи-рането и влиянието на процеса на непрекъсната структурна интеграция – фигура (2-1-2-1). Може да се каже, че тук е представена методологическата фаза на дисертационното изследване.



**Фигура (2-1-2-1): Функционална схема на потока**  
**Източник: Изготвено от изследователя**

Фигура (2-1-2-1) илюстрира модел, който свързва система, ориентирана към проектиране (DT System), с конкретни етапи на процеса (VC Model). По-долу е представено обяснение на ключовите елементи на изображението:

- **Система (DT System):** Включва променливи като контролна логика, структурна интеграция и интелигентно управление. Тези елементи показват как системата функционира като цялостен организъм.
- **Модел (VC Model):** Представя етапите на процеса, обхващащи няколко стъпки (от Етап А до Етап F). Моделът показва как процесът преминава от един етап към друг.

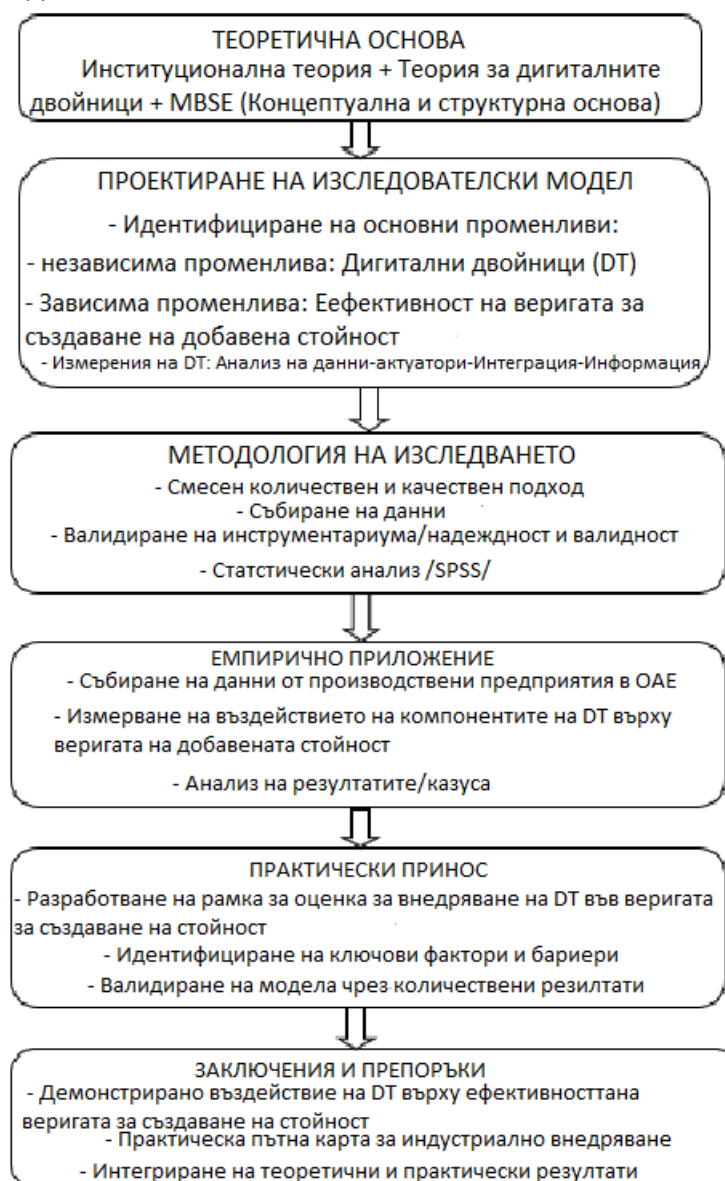
- **Функционална връзка:** Показва как системата е свързана с тези етапи, което предполага непрекъснато взаимодействие между интегрирания дизайн и структурираното изпълнение на етапите.

Настоящото изследване възприема многостепенна интегративна рамка, в която: **Макро ниво (институционално):** Институционалната теория обяснява защо производствените предприятия в ОАЕ внедряват дигитални двойници, като се вземат предвид принудителни, нормативни и миметични натиски, както и поведение, насочено към постигане на легитимност. **Мезо ниво (технологично):** Теорията на дигиталния двойник и кибер-физичните системи (Cyber-Physical Systems – CPS) осигуряват основата за технологичното ядро, гарантирайки двупосочно взаимодействие в реално време между физическите активи и техните виртуални двойници. **Методологично ниво:** Системното инженерство, базирано на модели (MBSE), реализирано чрез SysML, служи като методологична опора, която структурира и синхронизира всички компоненти на системата. **Семантично и онтологично ниво:** Използването на онтологии OWL и стандарти като OPC UA гарантира семантична оперативна съвместимост между хетерогенни системи.

Тази йерархична интеграция, представена на Фигура 2-1-1-1, създава последователен и координиран път от външен институционален натиск към вътрешното технологично внедряване и, в крайна сметка, към измерими подобрения в ефективността на веригата за стойност. Процедурната логика на изследването е представена на Фигура (2-1-3-1), а концептуалната и оперативната структура на интегрирания модел, която е тясно свързана, е показана на Фигура (2-1-1-1). Блок-схемата превръща теоретичната основа, представена от Институционалната теория и Теорията на дигиталния двойник, в количествено измерими променливи, като дигиталният двойник се разглежда като независима променлива, а ефективността на веригата за добавена стойност (Value-Added Chain – VAC) – като зависима променлива, включена в интегрирания модел. Операционализирането на модела се извършва чрез методологията и етапите на емпиричното приложение, които определят как компонентите на модела се идентифицират и тестват в контекста на производствените предприятия в ОАЕ.

Представената на фигура 2-1-3-1 блок-схема представлява пътна карта за провеждане на изследването, докато интегрираният модел е аналитичен и обяснителен дизайн на изследването. Или казано по друг начин - тя представя процедурната логика на изследването, докато Фигура (2-1-1-1) показва концептуалната и оперативната структура на интегрирания модел, като двете са тясно свързани. Блок-схемата започва с теоретичната основа, която пряко информира комбинирания модел, тъй като той се базира на Институционалната теория и Теорията за дигиталния двойник. Теоретичната основа за внедряване на дигитални двойници и очакваният й ефект върху ефективността на веригата за стойност, имплементиран в интегрирания модел, е подробно обяснена. Тези теории се превръщат в измерими променливи по време на етапа на проектиране на изследователския модел в блок-схемата, при което дигиталният двойник се разглежда като независима променлива, а ефективността на веригата за добавена стойност (Value-Added Chain – VAC) – като зависим резултат, връзки, които са ясно отразени в интегрирания модел. Освен това, методологичният етап на блок-схемата реализира практически интегрирания модел, като определя как неговите елементи – анализ на данни, сензори, актуатори, интеграция и интерфейси – ще бъдат емпирично измервани и тествани. Етапът на емпирично приложение включва прилагането на интегрирания модел върху производствени предприятия в ОАЕ, с цел определяне на въздействието на компонентите на дигиталния двойник върху ефективността на VAC. Етапът на принос обхваща практическата добавена стойност, като включва валидиране на интегрирания модел чрез реални доказателства и доказ-

ване на неговата ефективност отвъд теоретичната рамка. Накрая се формулират заключения и препоръки, базирани на блок-схемата, като те са пряк резултат от разбирането, получено чрез интегрирания модел. Това се дължи на факта, че блок-схемата се разглежда като пътна карта за изпълнението на изследването, докато интегрираният модел представлява пътна карта за анализа и обяснителната част на изследването.



Фигура (2-1-3-1): Блок-схема на изследването

За целите на емпиричното изследване (раздел 2.4) е използвана описателна методология, подвид на количествените изследвания, характеризираща се с цялостно изследване на дадено явление в рамките на определена група, локация и времеви контекст. Тя представлява систематичен подход към научното изследване и интерпретация, насочен към постигане на конкретни цели, свързани със социален проблем. Изследваната съвкупност (раздел 2.5) се дефинира като съвкупността от всички единици на извадката, към които се отнася изследването, при ясно идентифициране на единицата на наблюдение, изследваните характеристики и използваните променливи. Определянето на генералната съвкупност е обусловено от целта на изследването, като се гарантира съответствие с изследваната общност. Несъответствието между изследваната и целевата съвкупност

прави научно невалидно обобщаването на резултатите от извадката към целевата група. Настоящата изследвана съвкупност обхваща всички лица, заети в производствения сектор в Обединените арабски емирства. Поради значителния размер на тази общност и трудността при установяване на общата ѝ численост, изследователят прилага извадков подход, като е подбрана случайна извадка от представители на изследваната съвкупност с опит в производствения сектор в ОАЕ в различни области, възлизаща на 384 лица, чрез създаване на електронна анкета в Google Forms и разпространението ѝ посредством различни социални мрежи. Извадката на изследването включва група от разнообразни индустриални предприятия в ОАЕ – както големи, така и средни – включително от хранително-вкусовата, машиностроителната, петролната и хардуерната индустрия. Тази група е подбрана въз основа на предполагаемото ѝ въздействие върху развитието и прилагането на дигиталните двойници и блокчейн технологиите.

**“Таблица (2-5-1) Брой и процент на раздадените и събраните въпросници”**

Handed out questionnaires	Collected valid questionnaires	%
384	373	98.95%

В раздел 2.6 са представени характеристиките на респондентите.

**A. Сегментиране на респондентите по пол:**

**“Таблица (2-6-1) Сегментация по пол”**

Variable	Segments	F	%	Total
Gender	Men	194	%52	373
	Women	179	%48	

Представените данни показват, че сегментът на мъжете заема най-висок относителен дял по пол — 52%, следван от сегмента на жените с 48%.

**B. Сегментиране на респондентите по възраст:**

**Table (2-6-2) Сегментация по възраст**

Variable	Categories	Frequencies	Percentage	Total
Age	Less than 30 years old	142	%38.1	373
	From 30 to 40 years	178	%47.7	
	From 41 to 50 years	43	%11.5	
	51 years and above	10	%2.7	

Представените данни показват, че най-висок относителен дял по възраст има групата от 30 до 40 години — 47,7%, следвана от лицата под 30 години — 38,1%, докато най-нисък е делът на респондентите на възраст 51 и повече години — 2,7%.

**C. Сегментация по години професионален опит :**

**Table (2-6-3) Сегментация по години професионален опит**

Variable	Categories	Frequencies	Percentage	Total
Years Of Experience	Less than 5 years	103	%27.6	373
	From 5 to less than 10 years	195	%52.3	
	10 years and more	75	%20.1	

Представените данни показват, че най-висок относителен дял по трудов стаж има

групата с опит от 5 до под 10 години — 52,3%, следвана от лицата с опит под 5 години — 27,6%, докато най-нисък е дялът на респондентите с 10 и повече години опит — 20,1%.

В параграф 2.7 са представени инструментът и процедурата за проверка на психометричните му характеристики. В тази връзка е разработена и приложена анкета с цел изследване и оценка на степента на прилагане на дигиталните двойници за повишаване на „веригата на стойността“ (VC).

### **Вътрешна консистентност и валидност на осите на въпросника**

За да се установи вътрешната консистентност и валидност, изследователят изчислява коефициентите на корелация между резултатите за всяко твърдение и общия резултат за съответната ос.

#### **Ос (1): Дигитален двойник (DT)**

Валидността на вътрешната консистентност беше оценена чрез изчисляване на коефициентите на корелация между резултатите за всяко твърдение и общия резултат за съответното измерение на първата ос на въпросника. Следващата таблица (2-7-2-1) представя получените резултати:

**Таблица No. (2-7-2-1) Коефициенти на корелация на Пиърсън за Ос (1)**

Ser.	r.	Ser.	r.	Ser.	r.
<b>Dimension (1): Data Analysis</b>					
1	.713**	2	.833**	3	.782**
4	.731**	5	.828**	6	.780**
7	.751**	8	.721**	9	.799**
10	.843**				
<b>Dimension (2): Actuators</b>					
11	.765**	12	.773**	13	.869**
14	.787**	15	.778**	16	.824**
17	.823**	18	.775**		
<b>Dimension (3): Integration</b>					
19	.719**	20	.736**	21	.712**
22	.830**	23	.804**	24	.740**
25	.771**	26	.782**	27	.789**
<b>Dimension (4): Information</b>					
28	.739**	29	.781**	30	.780**
31	.847**	32	.868**	33	.775**
34	.774**				

\*\*Статистически значими при (0,01)

Предходните данни, според Таблица (2-7-2-1), показват, че коефициентите на корелация (r) между резултатите за отделните твърдения и общия резултат за съответното измерение на Оста (1), Дигитален двойник (DT), са били всички статистически значими. Всички r-стойности за измеренията на Оса (1) са следните:Измерение 1 – Анализ на данни:  $r = 0,713^{**} - 0,843^{**}$ , Измерение 2 – Актуатори:  $r = 0,765^{**} - 0,869^{**}$ , Измерение 3 – Интеграция:  $r = 0,712^{**} - 0,830^{**}$  Измерение 4 – Информация:  $r = 0,739^{**} - 0,868^{**}$

Тези резултати показват висока степен на валидност на вътрешната консистентност за съответните твърдения.

#### **Ос (2): Ефективност на „Веригата за стойност“**

Валидността на вътрешната консистентност за Оса (2) беше направена чрез изчисляване на коефициента на корелация на Пиърсън между резултатите за всяко твърдение и общия резултат за втория измерител на въпросника.

Резултатите са представени в следващата таблица (2-7-2-2):

**Таблица (2-7-2-2): Коефициенти на корелация на Пиърсън за Ос (2): Ефективност на „Веригата за стойност“**

Ser.	r.	Ser.	r.	Ser.	r.
35	.721**	36	.793**	37	.805**
38	.843**	39	.831**	40	.855**
41	.818**	42	.845**	43	.842**
44	.817**	45	.741**	46	.708**

\*\* Статистически значими при (0,01)

Предходните данни, според Таблица (2-7-2-2), показват, че коефициентите на корелация (r) между резултатите за отделните твърдения и общия резултат за Ос (2), Ефективност на „Веригата за стойност“ (VC), са всички статистически значими при (0,01), като стойностите варират между 0,708\*\* и 0,855\*\*. Това разкрива висока степен на валидност на вътрешната консистентност за твърденията, включени в съответната ос.

**В раздел 2.7.3 се коментира общата конструктивна валидност на първата ос.** Общата конструктивна валидност на осите на въпросника беше проверена чрез изчисляване на коефициентите на корелация между общия резултат за всяка ос и средния резултат за целия въпросник. Резултатите са представени в таблица (2-7-3-1):

**Таблица (2-7-3-1): Матрица на корелацията на измеренията с общия резултат от въпросника**

<i>Dimensions</i>	<i>Total score</i>	<i>Dimension (1): Data Analysis</i>	<i>Dimension (2): Actuators</i>	<i>Dimension (3): Integration</i>	<i>Dimension (4): Information</i>
<i>Total score</i>	1	-	--	--	--
<i>The first dimension: Data Analysis</i>	.922**	1	--	--	--
<i>The Second Dimension: Actuators</i>	.920**	.948**	1	--	--
<i>The Third Dimension: Integration</i>	.878**	.678**	.681**	1	--
<i>The Fourth Dimension: Information</i>	.843**	.631**	.627**	.785**	1

Данните, според Таблица (2-7-3-1), показват, че коефициентите на корелация (r) между общия резултат за всяко измерение и средния резултат за целия въпросник са били високи, вариращи между 0,627\*\* и 0,948\*\*, като всички са статистически значими при (0,01). Това разкрива високата конструктивна валидност на въпросника.

**В раздел 2.7.3 се дискутира общата конструктивна валидност на първата ос: дигитални двойници (DT).**

Представените данни, според таблица (2-7-3-1), показват, че стойностите на корелацията (r) между общия резултат за всяко измерение и средната стойност за целия въпросник са високи, вариращи между 0,627\*\* и 0,948\*\*, като всички те са статистически значими при ниво 0,01. Това разкрива изключително висока

конструктна валидност на въпросника.

**Таблица (2-7-3-1): Матрица на корелациите между измеренията и общия резултат на въпросника**

Dimensions	Total score	Dimension (1): Data Analysis	Dimension (2): Actuators	Dimension (3): Integration	Dimension (4): Information
Total score	1	-	--	--	--
The first dimension: Data Analysis	.922**	1	--	--	--
The Second Dimension: Actuators	.920**	.948**	1	--	--
The Third Dimension: Integration	.878**	.678**	.681**	1	--
The Fourth Dimension: Information	.843**	.631**	.627**	.785**	1

**Раздел 2.7.4 разглежда надеждността на изследователския инструмент (въпросника)**

Стремежът е да се провери надеждността на изследователския инструмент, изследователят изчисли надеждността на въпросника чрез Кронбахов алфа коефициент и метода на разделяне на половини (split-half). Уравнението на Кронбаховия алфа коефициент се основава на дисперсиите на твърденията във въпросника и изисква измерванията на всяко измерение да отразяват само една характеристика. Поради това изследователят е изчислил коефициента на надеждност за всяка ос поотделно. При метода на разделяне на половини изследователят изчислява коефициента на корелация за всяка ос след разделяне на твърденията ѝ на две части (равни, ако броят на елементите на оста е четен, и неравни, ако е нечетен). След това коефициентът на корелация се въвежда в формулата на Spearman-Brown за метода на разделяне на половини и в уравнението на Guttman, за да се определи надеждността на измерването. Резултатите са представени в следващата таблица (2-7-4-1):

**Таблица (2-7-4-1): Коефициенти на надеждност на осите на въпросника**

Axes	Dimensions	Statements No.	Reliability Coefficients Values		
			Cronbach's alpha Coefficient	Spearman-Brown Coefficient	Guttman Coefficient
The first Axis: DT	The first dimension: Data Analysis	10	.927	.948	.948
	The Second Dimension: Actuators	8	.919	.923	.923
	The Third Dimension: Integration	9	.910	.865	.854
	The Fourth Dimension: Information	7	.901	.926	.901
	Total score	34	.911	.823	.928
The Second Axis: The	Total score	12	.949	.987	.987

<i>efficiency of the "VC"</i>					
-----------------------------------	--	--	--	--	--

Таблицата (2-7-4-1) показва, че всички коефициенти на надеждност по Кронбахов алфа коефициент са били високи. За първата ос – Дигитален двойник (DT), стойностите варират между 0,901 и 0,927, а общата надеждност на осата достига 0,911. За втората ос – Ефективност на „Веригата за стойност“ (VC), стойността на надеждността е висока, достигайки 0,949. Коефициентите на надеждност за осите на въпросника, изчислени чрез метода на разделяне на половини (split-half) с използване на уравнението на Spearman-Brown, също са високи: за първата ос – DT, между 0,865 и 0,948, а за втората ос – VC, 0,987. Коефициентите на надеждност, изчислени чрез уравнението на Guttman, варират за първата ос между 0,854 и 0,948, а за втората ос – VC, 0,987. Тези резултати показват висока надеждност на изследователския инструмент, неговата пригодност за приложение и потвърждават надеждността на получените резултати

### **В раздел 2.10 се коментират основните резултати от глава 2.**

Глава втора показва, че предложената изследователска методология е теоретично обоснована в многостепенна концептуална структура, която обединява организационни, технологични и семантични перспективи, за да обясни как системите на дигиталния двойник могат да подобрят ефективността на веригата за стойност. В тази глава се демонстрира, че внедряването на дигитални двойници в производствения сектор на ОАЕ не е просто техническо решение, а се формира от институционални сили, като национални програми за цифрова трансформация, регулаторни изисквания и необходимостта от организационна легитимност. Това потвърждава, че внедряването на дигитален двойник трябва да се разглежда в контекста на по-широка социо-организационна среда, а не като чисто инженерна интервенция. Интегрираният модел, разработен в Глава втора, води до единна теоретична и операционна рамка, която обяснява как дигиталните двойници могат систематично да повишават ефективността на веригата за стойност. На концептуално равнище моделът интегрира институционални фактори, инженерни принципи и семантична интелигентност в единна структура, която свързва организационните мотиви с технологичното изпълнение.

Тази интеграция показва, че успешното внедряване на дигитален двойник се постига, когато институционалната логика, системната архитектура и когнитивната интерпретация функционират съвместно в взаимно подсилващ се цикъл. Моделът показва, че подобренията в ефективността възникват в резултат на непрекъснат контур за обратна връзка, който свързва събирането на данни, семантичната им интерпретация, интеграцията между отделите и физическото изпълнение чрез актуатори. Вместо да представя дигиталните двойници като статични инструменти за визуализация, моделът ги разглежда като динамични системи, които трансформират сурови оперативни сигнали в смислена информация, а впоследствие – в координирани действия. Чрез това циклично взаимодействие моделът обяснява как организациите могат да постигнат оптимизация в реално време, междуфункционална координация и синхронизирани оперативни реакции. Централен резултат от интегрирания модел е установяването на ясно дефиниран път от външните средови въздействия към вътрешното повишаване на организационната ефективност. Моделът показва, че външните институционални натиски мотивират предприятията да възприемат усъвършенствани дигитални системи; Теорията за дигиталния двойник и инженерството на системи, базирано на модели (MBSE) осигуряват структурните механизми за проектиране и изграждане на тези системи; а семантичното моделиране гарантира контекстуална интелигентност, която съгласува техническите резултати със стратегическите цели на

организацията. В своята съвкупност тези елементи показват, че дигиталните двойници се превръщат не само в средство за технологично усъвършенстване, но и във фактор за изграждане и поддържане на организационна легитимност. В заключение, моделът води до цялостно разбиране за начина, по който дигиталните двойници допринасят за ефективността на веригата на стойността, като свързват виртуалната интелигентност с физическото изпълнение. Подчертава се, че подобренията в ефективността не произтичат единствено от усъвършенствана обработка на данни, а от способността на системата да интерпретира информацията по смислен начин, да я разпространява последователно по цялата верига на стойността и да я преобразува в координирани оперативни действия. Този теоретичен резултат осигурява концептуалната обосновка за емпиричното тестване на модела в Глава трета.

### **ГЛАВА ТРЕТА: ЦЯЛОСТНА ОЦЕНКА И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ НА ПРЕДЛОЖЕНИЯ МОДЕЛ ВЪЗ ОСНОВА НА ЕМПИРИЧНО ИЗСЛЕДВАНЕ**

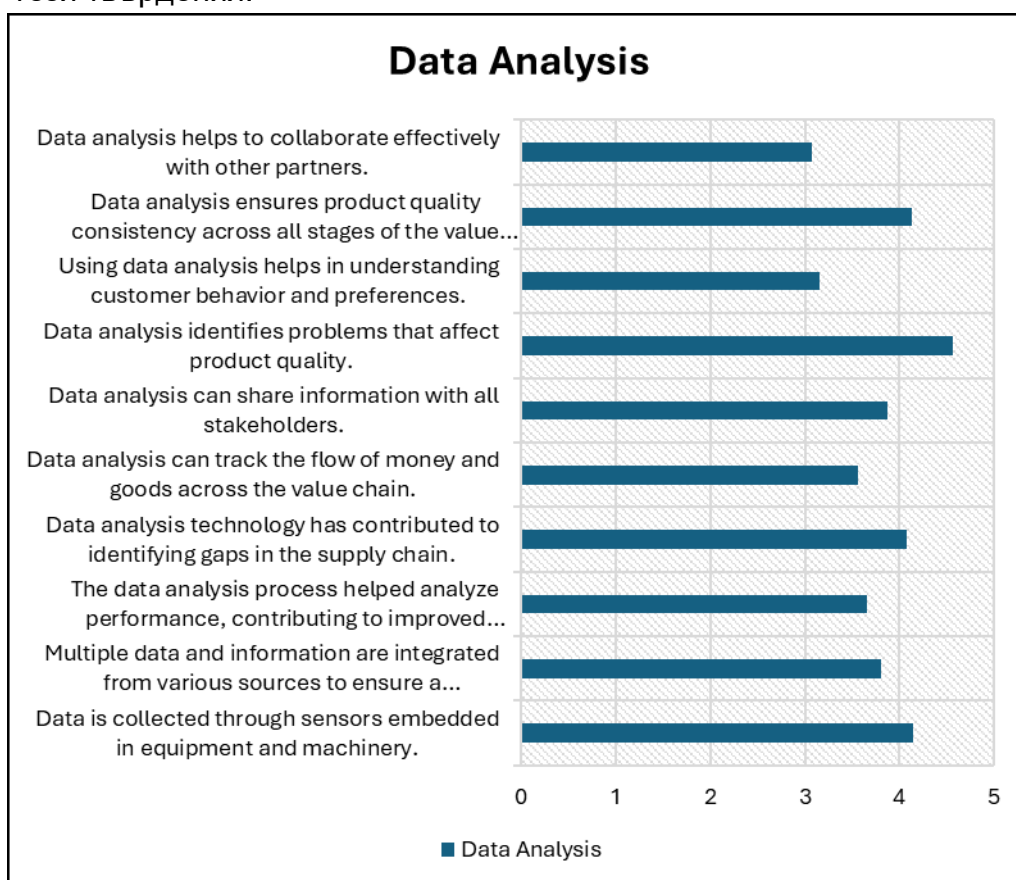
Глава трета представлява емпиричното ядро на дисертационния труд, в което комбинираната концептуализация на веригата за добавена стойност на дигиталния двойник, разработена в Глава втора, е подложена на задълбочена проверка и интерпретация въз основа на реални емпирични данни от професионалисти в производствения сектор на Обединените арабски емирства. Главата започва с определяне на критерий за средна стойност (mean-score), използван за обективна оценка на възприятията на респондентите по всеки елемент и всяко измерение на анкетния инструмент, като по този начин се осигурява последователен, прозрачен и възпроизводим анализ, съобразен с валидираните психометрични характеристики на използвания инструментариум. След това логически се разглежда систематично четирите основни фактора (енейбълъри) на дигиталния двойник: анализ на данни (осигуряващ аналитична интелигентност и предиктивни прозрения), изпълнителни механизми (актуатори), предоставящи възможност за затворен контур на физическо изпълнение, интеграция (осигуряваща двупосочна връзка между оперативните и корпоративните данни) и информация (подкрепяща интелигентното и устойчиво вземане на решения). Анализът е осъществен чрез описателна статистика, която показва силен консенсус относно приноса на всяко измерение към ефективността на веригата за добавена стойност.

Хипотезите на изследването са тествани чрез инференциални статистически методи (методи за статистическа проверка на хипотези), основно регресионен анализ, който потвърждава наличието на статистически значими положителни зависимости между отделните фактори и общата ефективност на веригата, като комбинираният синергичен ефект значително надвишава влиянието на всеки отделен фактор поотделно. В заключение, главата обобщава емпиричните резултати чрез дискусия, която ги съпоставя със съществуващите теоретични постановки, формулира цялостна визия за практическо внедряване, съобразена с изискванията и ограниченията на реалната среда, и завършва с валидиране на структурната устойчивост на модела, оперативната ефективност и готовността му да подкрепи мащабно внедряване на концепцията за дигитален двойник в производствения сектор на Обединените арабски емирства.

#### **3.3.1 Преглед, обяснение и анализ на резултатите от въпрос Q (1): В каква степен прилагането на концепцията за дигитални двойници (анализ на данни) повишава ефективността на веригата на стойността (VC)?**

Представените данни на Фигура (3-3-1-1) разкриват, че първото измерение, а именно „анализ на данни“, получава средна стойност (3.89) и стандартно

отклонение (0.423), което показва (висока) степен на съгласие. На първо място се класира твърдение номер (7): „Анализът на данни идентифицира проблеми, които влияят върху качеството на продукта“, със средна стойност (4.56) и стандартно отклонение (1.019), индикиращо (много висока) степен на съгласие. На второ място е твърдение номер (1): „Данните се събират чрез сензори, интегрирани в оборудването и машините“, със средна стойност (4.15) и стандартно отклонение (1.272), показващо (висока) степен на съгласие. На последно място се нарежда твърдение номер (10): „Анализът на данни помага за ефективното сътрудничество с други партньори“, със средна стойност (3.07) и стандартно отклонение (1.386), което показва (умерена) степен на съгласие. Стандартните отклонения за твърденията в първата ос варират между (1.019 и 1.605), което представлява високи стойности, индикиращи вариация в мненията на изследваната извадка спрямо тези твърдения.

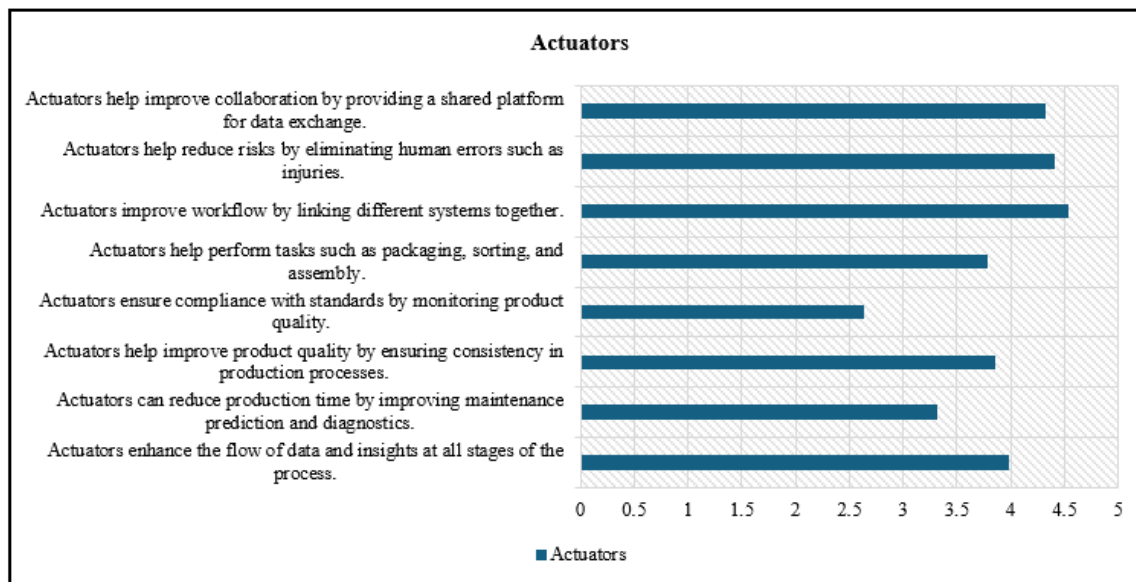


Фигура (3-3-1-1) представя средните стойности по показателя „Анализ на данни“

### 3.3.2 Преглед, обяснение и анализ на резултатите от въпрос Q (2): В каква степен прилагането на концепцията за дигитални двойници (използване на актуатори) повишава ефективността на веригата на стойността (VC)?

Фигура (3-3-2-1) показва, че второто измерение, „задвижващи механизми“, получава (висока) степен на съгласие със средна стойност (3.60) и стандартно отклонение (0.579). На първо място се класира твърдение номер (16): „Задвижващите механизми подобряват работния процес чрез свързване на различни системи една с друга“, със средна стойност (4.54) и стандартно отклонение (1.086), индикиращо (много висока) степен на съгласие. На второ място е твърдение номер (17): „Задвижващите механизми помагат за намаляване на рисковете чрез елиминира-

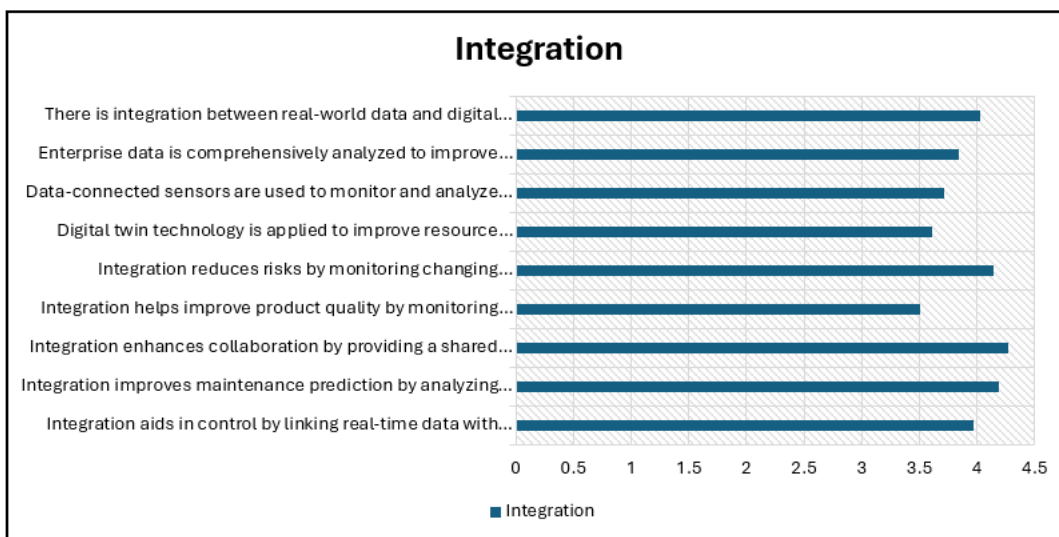
не на човешки грешки, като например наранявания“, със средна стойност (4.41) и стандартно отклонение (1.134), което също показва (много висока) степен на съгласие. На последно място е твърдение номер (14): „Задвижващите механизми осигуряват съответствие със стандартите чрез мониторинг на качеството на продукта“, със средна стойност (2.64) и стандартно отклонение (1.470), индикиращо (умерена) степен на съгласие.



**Фигура (3-3-2-1) представя средните стойности за „задвижващи механизми“ (actuators)**

### 3.3.3 Преглед, обяснение и изследване на резултатите от въпрос 3 (Q3), който беше: До каква степен концепцията за ДТ (интеграция) се прилага за повишаване на ефективността на „VC“?

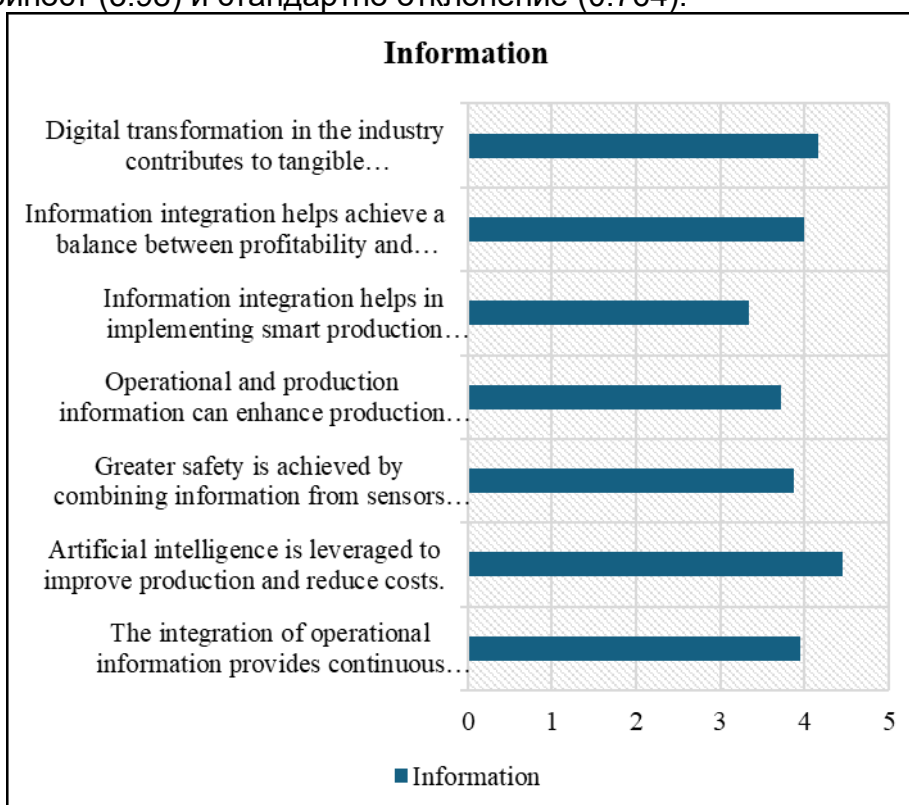
Представените данни на Фигура (3-3-3-1) разкриват, че общата средна стойност за третото измерение, „интеграция“, получава (висока) степен на съгласие със средна стойност (4.05) и стандартно отклонение (0.514). На първо място се класира твърдение номер (21): „Интеграцията подобрява сътрудничеството чрез осигуряване на споделена платформа за обмен на данни“, със средна стойност (4.27) и стандартно отклонение (1.244), индикиращо (много висока) степен на съгласие. На второ място е твърдение номер (20): „Интеграцията подобрява прогнозирането на поддръжката чрез анализ на данни от сензори“, със средна стойност (4.19) и стандартно отклонение (1.338), показващо (висока) степен на съгласие. На последно място се нарежда твърдение номер (22): „Интеграцията спомага за подобряване на качеството на продукта чрез мониторинг на условията на средата“, със средна стойност (3.51) и стандартно отклонение (1.602), което също показва (висока) степен на съгласие.



**Фигура (3-3-3-1) представя средните стойности по отношение на „интеграцията“**

### 3.3.4 Преглед, обяснение и изследване на резултатите от въпрос 4 (Q4), който беше: До каква степен концепцията за DT (информация) се прилага за повишаване на ефективността на „VC“?

Представените данни на Фигура (3-3-4-1) показват, че общата средна стойност за четвъртото измерение, „информация“, получава (висока) степен на съгласие със средна стойност (3.98) и стандартно отклонение (0.764).



**Фигура (3-3-4-1) представя средните стойности по отношение на „информацията“.**

На първо място се класира твърдение номер (29): „Изкуственият интелект (AI) се използва за подобряване на производството и намаляване на разходите“, със средна стойност (4.45) и стандартно отклонение (1.105), индикиращо (много

висока) степен на съгласие. На второ място е твърдение номер (34): „Дигиталната трансформация в индустрията допринася за осезаеми подобрения в управлението на веригата на стойността (VC)“, със средна стойност (4.17) и стандартно отклонение (1.230), показващо (висока) степен на съгласие. На последно място се нарежда твърдение номер (32): „Информационната интеграция помага при внедряването на интелигентни производствени методи“, със средна стойност (3.34) и стандартно отклонение (1.198), индикиращо (умерена) степен на съгласие.

### 1.3.5 Преглед, обяснение и изследване на резултатите от въпрос 5 (Q5):

Представените данни на Фигура (3-3-5-1) разкриват, че общата средна оценка за ефективността на „VC“ възлиза на средна стойност (3.90), стандартно отклонение (0.399) и степен на съгласие (висока). Твърдение № (44): „Производственият сектор има по-голяма способност да реагира на пазарните промени и конкуренцията“, се класира на първо място със средна аритметична стойност (4.55), стандартно отклонение (1.022) и степен на съгласие (много висока). Твърдение № (35): „Производственият сектор е ангажиран с мониторинг на представянето на служителите и идентифициране на техните нужди от обучение“, заема второ място със средна аритметична стойност (4.45), стандартно отклонение (1.110) и степен на съгласие (много висока). Твърдение № (45): „Производственият сектор се стреми да мотивира служителите чрез обратна връзка, базирана на реалното представяне“, се нарежда на последно място със средна аритметична стойност (3.14), стандартно отклонение (1.388) и степен на съгласие (умерена).

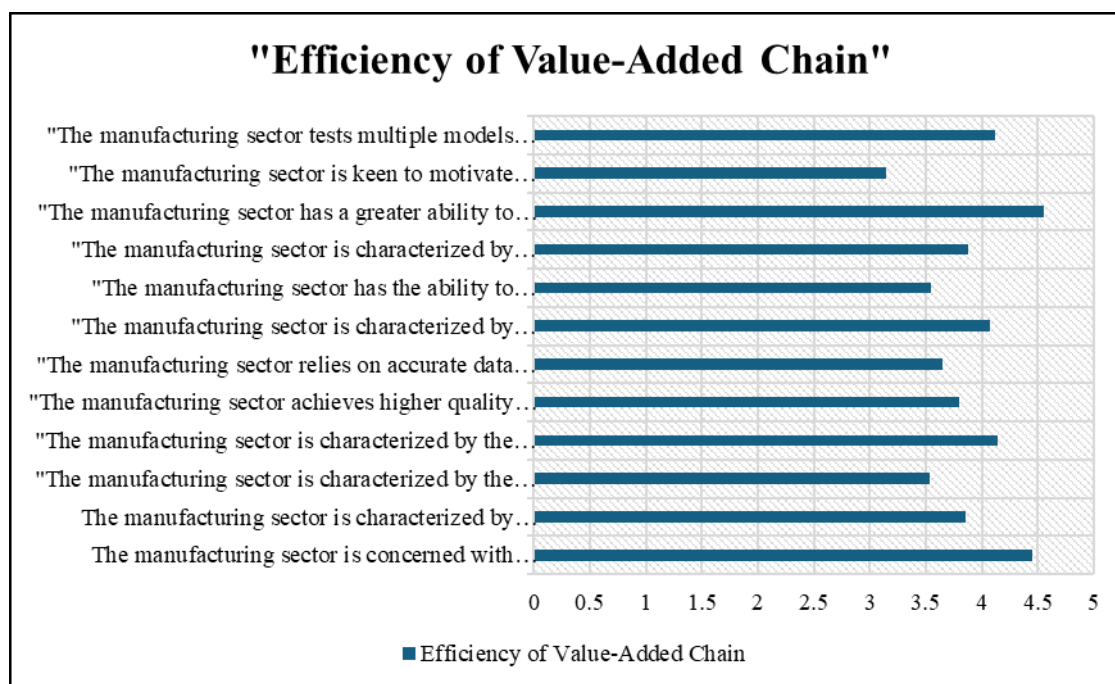


Figure No. (3-3-5-1) The means regarding the efficiency of the "VC"

## 3.4 Секция (2): Хипотези

**3.4.1 Не съществува статистически значимо влияние при ниво на значимост ( $\alpha = 0,05$ ) на дигиталния двойник (DT) върху ефективността на „VC“ (веригата за добавена стойност).**

За проверка на тази хипотеза е приложен методът на простия линеен регресионен анализ, както е показано в Таблица (3-4-1-1). За проверка на тази

хипотеза е приложен методът на простия линеен регресионен анализ, както е показано в Таблица (3-4-1-1).

**Таблица (3-4-1-1) представя влиянието на дигиталния двойник върху ефективността на „VC“**

<i>Independent Variable</i>	<i>B</i>	<i>Beta</i>	<i>R</i>	<i>R<sup>2</sup></i>	<i>T.value</i>	<i>Sig.T</i>
<i>DT</i>	.682	.661	.661a	.437	16.974	.000
<i>Dependent Variable</i>	<i>The efficiency of the “VC”</i>					
<i>Constant Coefficient</i>	1.247					
<i>Adj R<sup>2</sup></i>	.436					
<i>Value F</i>	288.111					
<i>Sig F</i>	.000b					

Данните, представени в Таблица (3-4-1-1), показват наличие на статистически значимо влияние на дигиталния двойник върху ефективността на „VC“, като стойността на коефициента на корелация (R) е 0,661<sup>a</sup> при ниво на значимост 0,000<sup>b</sup>. Освен това дигиталният двойник обяснява 43,7% от вариацията при идентифицирането на проблеми, съгласно стойността на коефициента на детерминация (R<sup>2</sup>), а стойността на F-критерия достига 288,111. На базата на гореизложеното се установява, че дигиталният двойник влияе върху „VC“ с 66,1%, което води до 43,7% промени в променливата „VC“. Оставащият дял от 56,3% се дължи на влиянието на други фактори, които не са разгледани в рамките на настоящото изследване. Следователно нулевата хипотеза, според която не съществува статистически значимо влияние при ниво на значимост ( $\alpha = 0,05$ ) на дигиталния двойник върху ефективността на „VC“, се отхвърля, а алтернативната хипотеза се приема.

### 3.4.2. Първо: Преглед, илюстриране и аналитично тълкуване на резултатите по подхипотеза H-1(sub-H (1)),

Не съществува статистически значимо влияние при ниво на значимост (0,05  $\geq \alpha$ ) на анализа на данни върху ефективността на „VC“. За проверка валидността на тази подхипотеза е използван прост линеен регресионен анализ, както е показано в Таблица (3-4-2-1).

**Таблица (3-4-2-1) представя влиянието на анализа на данни върху ефективността на „VC“**

<i>Independent Variable</i>	<i>B</i>	<i>Beta</i>	<i>R</i>	<i>R<sup>2</sup></i>	<i>T.value</i>	<i>Sig.T</i>
<i>Data Analytics (or Data Analysis)</i>	.791	.843	.843a	.710	30.124	.000
<i>Dependent Variable</i>	<i>The efficiency of the “VC”</i>					
<i>Constant Coefficient</i>	.822					
<i>Adj R<sup>2</sup></i>	.709					
<i>F Value</i>	907.485					
<i>Sig F</i>	.000b					

Данните в Таблица (3-4-2-1) разкриват наличие на статистически значимо влияние на анализа на данни върху ефективността на „VC“, като стойността на коефициента на корелация (R) достига 0,843<sup>a</sup> при ниво на значимост 0,000<sup>b</sup>. Анализът на данни обяснява 71,0% от вариацията при идентифицирането на проблеми, съгласно стойността на коефициента на детерминация (R<sup>2</sup>), като стойността на F-критерия достига 907,485. Въз основа на получените резултати се установява, че анализът на данни оказва влияние върху „VC“ в размер на 84,3%, което води до 71% промени в променливата „VC“. Оставащите 29% се дължат на други фактори, които не са предмет на настоящото изследване. Следователно нулевата

хипотеза, според която не съществува статистически значимо влияние при ниво на значимост ( $\alpha = 0,05$ ) върху ефективността на „VC“, се отхвърля, а алтернативната хипотеза, според която съществува статистически значимо влияние при ниво на значимост ( $\alpha = 0,05$ ), се приема.

### 3.4.3 Второ: Преглед, илюстриране и аналитично тълкуване на резултатите по подхипотеза H-2 (sub-H (2)),

Не съществува статистически значимо влияние при ниво на значимост ( $0,05 \geq \alpha$ ) на актуаторите върху ефективността на „VC“. За проверка на валидността на тази хипотеза е приложен прост линеен регресионен анализ, както е показано в Таблица (3-4-3-1).

Таблица (3-4-3-1) представя влиянието на актуаторите върху ефективността на „VC“

<i>Independent Variable</i>	<i>B</i>	<i>Beta</i>	<i>R</i>	<i>R2</i>	<i>T.value</i>	<i>Sig.T</i>
<i>Actuators</i>	.194	.282	.282a	.079	5.658	.000
<i>Dependent Variable</i>	<i>The efficiency of the VC</i>					
<i>Constant Coefficient</i>	3.197					
<i>Adj R2</i>	.077					
<i>F value</i>	32.008					
<i>Sig F</i>	.000b					

Данните показват статистически значимо влияние на актуаторите върху ефективността на „VC“, като стойността на коефициента на корелация (R) достига 0,282<sup>a</sup> при ниво на значимост 0,000<sup>b</sup>. Освен това актуаторите обясняват 7,9% от вариацията при дефинирането на проблема, съгласно стойността на коефициента на детерминация ( $R^2$ ), а стойността на F-критерия достига 32,008. Въз основа на тези резултати се установява, че актуаторите влияят върху „VC“ с 28,2%, което води до 7,9% промени в променливата „VC“. Останалите 92,1% се дължат на влиянието на други фактори, които не са разгледани в настоящото изследване. Следователно нулевата хипотеза, според която актуаторите не оказват статистически значимо влияние върху ефективността на „VC“ при ниво на значимост ( $\alpha \leq 0,05$ ), се отхвърля, а алтернативната хипотеза, според която актуаторите оказват статистически значимо влияние върху ефективността на „VC“ при ниво на значимост ( $\alpha \leq 0,05$ ), се приема.

### 3.4.4. Трето: Преглед, илюстриране и аналитично тълкуване на резултатите по подхипотеза H-3 (sub-H (3))

Не съществува статистически значимо влияние при ниво на значимост ( $0,05 \geq \alpha$ ) на интеграцията върху ефективността на „VC“. За проверка на валидността на тази хипотеза е приложен прост линеен регресионен анализ, както е показано в Таблица (3-4-4-1).

Таблица (3-4-4-1) представя влиянието на интеграцията върху ефективността на „VC“

<i>Independent Variable</i>	<i>B</i>	<i>Beta</i>	<i>R</i>	<i>R2</i>	<i>T.value</i>	<i>Sig.T</i>
<i>Integration</i>	.213	.273	.273a	.075	5.472	.000
<i>Dependent Variable</i>	<i>The efficiency of the "VC"</i>					
<i>Constant Coefficient</i>	3.034					
<i>Adj R2</i>	.072					
<i>F Value</i>	29.938					

Данните показват статистически значимо влияние на интеграцията върху ефективността на „VC“, като стойността на коефициента на корелация (R) достига 0,273<sup>a</sup> при ниво на значимост 0,000<sup>b</sup>. Интеграцията обяснява 7,5% от вариацията при идентифициране на проблемите, съгласно стойността на коефициента на детерминация (R<sup>2</sup>), а стойността на F-критерия достига 29,938. Въз основа на гореизложеното се установява, че интеграцията влияе върху „VC“ с 27,3%, което води до 7,5% промени в променливата „VC“. Останалите 92,5% се дължат на други фактори, които не са разгледани в настоящото изследване. Следователно нулевата хипотеза, според която интеграцията не оказва статистически значимо влияние върху ефективността на „VC“ при ниво на значимост ( $\alpha \leq 0,05$ ), се отхвърля, а алтернативната хипотеза, според която интеграцията оказва статистически значимо влияние върху ефективността на „VC“ при ниво на значимост ( $\alpha \leq 0,05$ ), се приема.

**3.4.5. Четвърто: Преглед, илюстриране и аналитично тълкуване на резултатите по подхипотеза H-4 (sub-H (4)),  
Не съществува статистически значимо влияние при ниво на значимост (0,05  $\geq \alpha$ ) на информацията върху ефективността на „VC“**

За проверка на валидността на тази хипотеза е приложен прост линеен регресионен анализ, както е показано в Таблица (3-4-5-1).

**Таблица (3-4-5-1) представя влиянието на информацията върху ефективността на „VC“**

<i>Independent Variable</i>	<i>B</i>	<i>Beta</i>	<i>R</i>	<i>R2</i>	<i>T.value</i>	<i>Sig.T</i>
<i>Information</i>	.247	.472	.472 <sup>a</sup>	.223	10.309	.000
<i>Dependent Variable</i>	<i>The efficiency of the "VC"</i>					
<i>Constant Coefficient</i>	2.916					
<i>Adj R2</i>	.221					
<i>F Value</i>	106.281					
<i>Sig F</i>	.000 <sup>b</sup>					

Данните, представени в Таблица (3-4-5-1), показват статистически значимо влияние на информацията върху ефективността на „VC“, като стойността на коефициента на корелация (R) достига 0,472<sup>a</sup> при ниво на значимост 0,000<sup>b</sup>. Според стойността на коефициента на детерминация (R<sup>2</sup>) информацията обяснява 22,3% от вариацията при дефиниране на проблема, а стойността на F-критерия достига 106,281. Въз основа на тези резултати се установява, че информацията влияе върху „VC“ с 47,2%, което води до 22,3% промени в променливата „VC“. Останалите 77,7% се дължат на други фактори, които не са разгледани в настоящото изследване. Следователно нулевата хипотеза, според която информацията не оказва статистически значимо влияние върху ефективността на „VC“ при ниво на значимост ( $\alpha \leq 0,05$ ), се отхвърля, а алтернативната хипотеза, според която информацията оказва статистически значимо влияние върху ефективността на „VC“ при ниво на значимост ( $\alpha \leq 0,05$ ), се приема. Накрая, главата представлява и цялостна и детайлна емпирична оценка на интегрирания модел на веригата за добавена стойност с дигитален двойник. Тя предоставя стриктно тестване на хипотезите и интерпретативен синтез чрез обширен описателен анализ, показвайки как технологията на дигиталния двойник може систематично да бъде използвана за увеличаване на стойността на веригата за добавена стойност в производствения сектор на ОАЕ. Взаимодействието между емпиричните доказателства,

теоретичните концепции и практическите съображения предоставя солидна основа за заключенията, приноса и насоките за бъдещи изследвания, които са представени в последната глава на дисертацията.

### **3.15 Основни резултати от Глава трета**

Глава трета показва, че четирите измерения на дигиталния двойник — анализ на данни, актуатори, интеграция и информация играят централна и взаимносвързана роля за повишаване на ефективността на веригата за добавена стойност в производствения сектор на ОАЕ. Обсъждането на първия изследователски въпрос показва, че анализът на данни представлява основен двигател на функционалността на дигиталния двойник, като преобразува суровите оперативни сигнали в значими прозрения, които подкрепят оперативните решения, идентифицират неефективности, подобряват прогнозите и позволяват непрекъснато наблюдение по цялата верига за добавена стойност. Резултатите, свързани с втория изследователски въпрос, показват, че актуаторите представляват практическото, физическо продължение на дигиталния двойник, превръщайки виртуалните прозрения в реални оперативни действия, подобрявайки качеството на продукта, намалявайки човешките грешки, осигурявайки последователност на работните процеси и улеснявайки автоматизирани реакции в рамките на производствения цикъл.

Относно третия изследователски въпрос, резултатите разкриват, че интеграцията позволява синхронизацията на оперативните данни в реално време с корпоративната информация, подпомага предиктивната поддръжка, оптимизира контрола на процесите, засилва сътрудничеството и позволява дигиталният двойник да функционира като единна екосистема. Резултатите по четвъртия изследователски въпрос подчертават, че информацията — чрез дигитални, сензорни и корпоративни интелигентни системи — осигурява по-добър контрол, подобро прогнозиране, по-силно вземане на решения, устойчивост и повишено качество на продуктите чрез интегриране на сензорните данни с организационните бази данни.

Крайните резултати потвърждават, че четирите измерения функционират като взаимозависима система: анализът на данни осигурява прозрение, актуаторите позволяват действие, интеграцията гарантира съгласуваност, а информацията подкрепя интелигентността, създавайки цифрово овластена производствена среда, способна на подобрена ефективност, по-висока адаптивност и по-голямо създаване на стойност.

## **ГЛАВА 4: СИНТЕЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ, ЗАКЛЮЧЕНИЯ И СТРАТЕГИЧЕСКИ ПРЕПОРЪКИ**

Четвърта глава изпълнява функцията на синтез на цялата дисертация, като обобщава най-важните изводи от предходните глави и заключава, че теоретичната основа (Глава първа), методологичната рамка и интегрираният модел (Глава втора) и емпиричната валидизация (Глава трета) заедно демонстрират, че системното внедряване на дигитален двойник може значително да подобри ефективността на веригата за добавена стойност в производствения сектор на ОАЕ. Тази глава включва стратегически препоръки, като национални кампании за повишаване на осведомеността, обучение на работната сила, пилотно внедряване, разработване на съвместими платформи и съгласуване с целите на UAE Vision 2031 и политиките на Industry 4.0/5.0. Освен това се посочват очакваните предимства на предложената рамка в средата на Industry 5.0, включително повишена устойчивост на веригата за доставки, по-добро сътрудничество между заинтересованите страни, по-бърза иновация, подобро потребителско изживяване и устойчиви операции с ефективно използване на ресурсите. Тук също така се

очертavat възможности за бъдещи изследвания, като: дългосрочни изследвания на възвръщаемостта на инвестициите (ROI), допълнително внедряване на технологии (генеративен ИИ, блокчейн), стандартизирани изследвания на зрялост, изследвания на етични и регулаторни аспекти и сравнение между МСП и големи предприятия. В края, главата се потвърждава ефективността на всички предварително дефинирани изследователски задачи, дава обща представа за оперативните и академичните ползи (15–20% повишаване на ефективността при пилотни внедрения, практически наръчник за реализация и теоретичен принос към холистични модели на веригата на стойността с дигитален двойник) и завършва с представяне на ключовите приноси, правейки дисертацията мост между теорията и практиката в устойчивата цифрова трансформация на производството. В тази глава се обобщават доказателствата от всички предходни глави, за да покаже, че четирите взаимнозависими фактора-енейбълъри на дигиталния двойник — анализ на данни, актуатори, системна интеграция и сливане на корпоративна информация — осигуряват синергични ефекти, които надвишават тези на всяко отделно измерение, когато се внедряват стъпка по стъпка чрез пилотни проекти. Резултатите и практическата визия, получени чрез емпиричното изследване, дават основа за стратегически препоръки, базирани на приоритетите за повишаване на осведомеността на национално ниво, повишаване на квалификацията на работната сила, пилотни проекти, демонстриращи бърза възвръщаемост на инвестициите, разработване на съвместими платформи за дигитални двойници, държавни стимули и съгласуване с UAE Vision 2031 и инициативата Operation 300bn, за да се увеличи скоростта на приемане, да се намалят рисковете и да се гарантира увереността на заинтересованите страни. В рамките на Industry 5.0 е показано, че това позволява повишена гъвкавост на веригите за доставки, взаимодействие между заинтересованите страни, по-бърза иновация чрез виртуално тестване, подобро потребителско изживяване и нисковъглеродни операции с минимални ресурси, подпомагащи дългосрочната национална диверсификация на икономиката и устойчивостта. Главата също така очертава бъдещи направления на изследване, като: дългосрочни проучвания на възвръщаемостта на инвестициите (ROI) и въздействието върху устойчивостта, интеграция с нововъзникващи технологии (генеративен ИИ, блокчейн, квантово сензиране), стандартизирани модели за зрялост, изследвания на етични и регулаторни аспекти, както и сравнения между МСП и големи предприятия. Всички предварително дефинирани изследователски задачи обаче бяха успешно постигнати, което утвърждава двоен принос на дисертацията: от една страна — оперативна стойност, която може да бъде реализирана от практиците в производствения сектор на ОАЕ още днес, и от друга страна — дългосрочно академично развитие на холистичната теория и приложението на моделите на веригата за добавена стойност с дигитален двойник.

В раздел 4.2 въз основа на различните изводи и заключения, достигнати в настоящото изследване, са представени следните препоръки, свързани с изучаването и оценката на приложението на концепцията за дигитален двойник (DT) с цел повишаване на ефективността на „VC“. Тези препоръки са подредени според тяхната важност въз основа на резултатите от полеовото изследване и статистическия анализ, както следва:

- Да се изтъкне значението на задълбоченото разбиране на технологията DT, за да се насърчи нейното приложение в различни индустрии и да се подкрепи техният растеж.

- Да се организират различни семинари в ОАЕ и други арабски държави за представяне на предимствата на технологията „дигитален двойник“ (DT) и начините за нейното използване в производствения сектор.
- Да се проследят всички постижения на развитите държави в областта на технологиите за цифрова трансформация и как тези технологии могат да се усъвършенстват в производствената индустрия.
- Да се привлекат експерти и професионалисти, с цел да се почерпи от техния опит в областта на изкуствения интелект и по-специално DT.
- Да се провеждат различни обучителни програми за работници в производствения сектор, за да се обучат как да използват съвременни технологии за повишаване на ефективността на „VC“.
- Да се работи върху интегрирането на данни от различни заинтересовани страни, като доставчици, логистични оператори и търговци на дребно. Това интегриране ще позволи по-интелигентно вземане на решения, по-ефективно управление на запасите, намалени срокове за доставка и повишено удовлетворение на клиентите.
- Да се подобри технологията DT, за да се увеличи поддръжката, надеждността и ефективността на физическите активи, системи и производствени процеси.

В раздел 4.3 са представени очакваните ползи от предложената рамка в контекста на Industry 5.0. Въз основа на гореизложеното и резултатите, постигнати от изследователя, се счита, че след внедряването на предложената рамка от компаниите ще бъдат постигнати следните резултати:

- **Подобряване на веригата за доставки:** Формулираната методология може да бъде използвана от компаниите за повишаване на ефективността на веригата за доставки, тъй като предоставя структуриран модел за разработване и изграждане на т.нар. дигитален двойник, който имитира процесите и системите във веригата за доставки.
- **Повишаване на устойчивостта:** Дигиталният двойник може да допринесе за повишаване на устойчивостта на компаниите, като им позволява да симулират различни сценарии и да вземат правилни решения за реакция при нарушения или промени в търсенето.
- **Засилване на сътрудничеството:** Дигиталният двойник може да бъде използван за подобряване на кооперацията между различните заинтересовани страни.
- **Разработване на нови продукти и услуги:** Дигиталният двойник може да подпомогне компаниите при разработването на нови продукти и услуги, като им позволява да симулират представянето на нови продукти или услуги при различни условия.
- **Подобряване на клиентския опит:** Дигиталният двойник може да помогне на компаниите да подобрят клиентския опит, като предоставя информация за начина, по който клиентите използват продукти или услуги, позволявайки целенасочени подобрения.

В раздел 4.4 се разглеждат бъдещи направления на изследване в контекста на Индустрия 5.0. На практика се предлага рамка и набор от инструменти, които допринасят за запълване на идентифицираните пропуски в изследователската област, като същевременно откриват възможности за бъдещи научни изследвания и по-нататъшно развитие чрез включване на допълнителни аспекти на разглеждания проблем:

- **Интегриране на дигиталния двойник с други технологии:** Изследване на възможностите за интегриране на DT с други технологии, като изкуствен интелект

(AI) и Интернет на нещата (IoT), с цел допълнително подобряване на ефективността на „VC“.

– **Подобряване на устойчивостта чрез DT:** Изследване на това как DT може да се използва за повишаване на устойчивостта в „веригата за доставки“, например чрез намаляване на отпадъците и повишаване на енергийната ефективност.

– **Разработване на DT платформи:** Изследване на създаването на DT платформи, които улесняват създаването, управлението и взаимната съвместимост на DT.

– **Изучаване на стандартите за DT:** Изследване на разработването на стандарти за DT, за да се гарантира съвместимост и интероперазивност между различни DT системи.

– **Анализ на етичните аспекти на DT:** Изследване на етичните въпроси, свързани с използването на DT, като поверителност, сигурност и отчетност.

– **Проучване на предизвикателствата при внедряване на DT:** Провеждане на бъдещи изследвания относно предизвикателствата при прилагането на технологии за дигитални двойници и начините за тяхното преодоляване в производствения сектор на ОАЕ.

В раздел 4.5 са представени изпълнените задачи, които са част от практическото приложение на целите на изследването.

#### Решени задачи

1. Дигиталните двойници (DT) доказано повишават оперативната ефективност чрез оптимизация на процесите, намаляване на нивата на неизправности и ускоряване на времето за достигане до пазара.

2. DT вече се използват в напреднали индустрии като строителството, автомобилостроенето и здравеопазването, като са демонстрирани ползи за иновациите и оптимизацията на процесите.

3. Съществуващите инструменти за моделиране и симулация улесняват анализа и оптимизацията на системите, като допринасят за по-добро вземане на решения.

4. Анализът на стойността е признат за средство за подобряване на организационните процеси, подкрепящо ефективността и систематичната оценка (имплицитно посочено в литературата, свързана с ефективността).

#### Фигура 4.1: Преглед на решените задачи и тяхната връзка с изследователския работен процес

Тези задачи имат за цел да покажат как предложената методология е използвана на практика и да потвърдят нейната приложимост и ефективност. От идентифицирането на проблема и подготовката на данните до изпълнението на модела и валидирането на резултатите, всяка задача представлява конкретен етап от изследователския процес. Изпълнените задачи предоставят проверими доказателства, че теоретичната рамка на изследването е ефективно превърната в оперативни протоколи. Освен това те показват как избраните инструменти, стратегии и аналитични техники са били приложени за систематично разрешаване на изследователския проблем. Резултатите от тези задачи също така служат като междинни контролни точки, за да се гарантира съответствие между крайните резултати и изследователския дизайн. Изследването подобрява прозрачността и възпроизводимостта чрез документиране на изпълнените задачи, което позволява на други изследователи да следват същите стъпки. В обобщение, тази секция потвърждава, че изследователските цели са били постигнати както на практическо, така и на теоретично ниво чрез внимателно планирани и валидирани задачи.

## НАУЧНО-ПРИЛОЖНИ И ПРИЛОЖНИ ПРИНОСИ

1. Създадена е цялостна концептуална рамка, включваща интегриран модел, която определя начина, по който технологията на „Дигиталния двойник“ може да бъде внедрена по цялата верига за добавена стойност, включително снабдяване, производство, транспорт и доставка.

2. Разширен е обхватът на съществуващите разработки за интегриране и прилагане на технологията на „Дигиталния двойник“ във веригата за добавена стойност, чрез включване на възможностите, които той предоставя за повишаване на нейната ефективност, оперативната координация и вземането на решения, базирани на данни, в единна теоретична рамка.

3. Приложението и ефикасността на предложената концептуална рамка, включваща интегриран модел, са емпирично проверени чрез смесен подход и изследваните хипотези са доказани чрез качествени и количествени методи. Също така, е приложен емпиричен подход, при който количествените статистически тестове са допълнени от качествена интерпретация на резултатите, което позволява по-дълбоко разбиране на контекста на внедряване на технологията на „Дигиталния двойник“ в производствените организации в ОАЕ.

4. Дефинирани са съществените технологични и организационни фактори за успешното внедряване на „Дигиталния двойник“, като анализ на данни, сензори, актуатори, системна интеграция и обмен на информация в реално време и е оценено тяхното влияние.

5. Доказан е положителният принос на технологията „Дигитален двойник“ върху ефективността на веригата за добавена стойност, в т. ч. повишена ефективност на процесите, по-добро използване на ресурсите, подобрена координация и намаляване на оперативните нарушения и грешки.

## СПИСЪК НА ПУБЛИКАЦИИТЕ ПО ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Zeyad Al Shammary, Ahmed Al Nakeeb, Haitham M. Alzoubi and Mounir El Khatib, (2025). “Integrating Digital Twins and Change Management for Industrial AI Deployment Strategies”. Proceedings of the 23rd International Scientific Conference “Management and Engineering”, Sofia, Bulgaria, Indexed in SCOPUS.

Athba Mohammed, Fatima Alhammadi, Samiha Aljasmi, Zeyad Al Shammary and Mounir El Khatib (2025). “The Influence of AI Based Simulation (Digital Twins) on Risk Mitigation in Construction Projects”. Proceedings of the 23rd International Scientific Conference “Management and Engineering”, Sofia, Bulgaria, Indexed in SCOPUS.

Shaima Al Harmoodi, Zeyad Al Shammary, Samah Al Nuaimi, Haitham M. Alzoubi and Mounir El Khatib, (2025). “Fostering Innovation in Large-Scale Projects through Digital Twin-Enabled Predictive Decision Support System”. Proceedings of the 23rd International Scientific Conference “Management and Engineering”, Sofia, Bulgaria, Indexed in SCOPUS.

## SUMMARY

### “RESEARCH AND EVALUATION OF THE APPLICATION OF THE DIGITAL TWINS CONCEPT TO INCREASE THE EFFICIENCY OF VALUE-ADDED CHAIN”

PhD Student: Zeyad Mohammed Abdul Ameer

**The research subject of the study is** Value chain of the industrial enterprises

**The research question is:** How does the application of the DT concept impact the efficiency of the “VC”?

Organizations adopt tech like 'digital twins' for competitiveness and sustainability. This study explores how digital twins improve the value chain for growth, asking, “How do digital twins impact efficiency?” via surveys and case studies in UAE manufacturing. It used random sampling of experienced participants, focusing on digital twins and value chain efficiency for practical insights. A descriptive design analyzed current practices, attitudes, and applications. Recommendations include increasing awareness, training, and expert involvement to promote digital twins, especially in the UAE and Arab regions. It stressed integrating new technologies and stakeholder data with global best practices to improve efficiency and making digital twin applications more asset-reliable, sustainable, and competitive. Digital twins can improve supply chains with real-time data, monitoring, and optimization, resulting in better performance, resource savings, waste reduction, and decision-making. In the UAE, their implementation enhances manufacturing efficiency through data analysis, actuators, and IT integration connectivity. These highlight digital twins’ importance for effectiveness, accuracy, and competitiveness. The study concludes digital twins enhance efficiency, predictive models, and sustainability, giving companies a competitive edge. However, it warns organizations to consider costs and cybersecurity risks to maximize benefits.

The **goal of the dissertation** research is to analyze and evaluate the impact of applying value analysis and the Digital Twin (DT) concept on the efficiency of the “VC” of the enterprises. In achieving this goal, the following main tasks are accomplished:

1. Analysis of existing theoretical and applied approaches to the implementation and integration of the DT concept in the processes of the “VC”.
2. Develop an integrated model for the evaluation and implementation of DT in the “VC” with the aim of improving process efficiency, including methods for monitoring and management.
3. Development of a framework for examining the applicability of the model and validating its key variables.
4. Testing the methodological tools



# TECHNICAL UNIVERSITY OF SOFIA

**Faculty of Management  
Department of Economics, Industrial Engineering and  
Management**

**MSc. Eng. Zeyad Mohammed Abdul Amir**

***“RESEARCH AND EVALUATION OF THE APPLICATION OF THE  
DIGITAL TWINS CONCEPT TO INCREASE THE EFFICIENCY OF  
VALUE-ADDED CHAIN”***

## **AUTHOR’S ABSTRACT**

of the dissertation submitted for the award of the educational and scientific  
degree "**DOCTOR**"

Field of Science: 5. Technical science  
Professional field: 5.13 General engineering  
Scientific specialty: Organization and Management of Production

**Scientific Supervisors:**

**Prof. Dr Eng. Ognyan Andreev**

**Assoc. Prof. Dr Eng. Nataliya Koleva**

SOFIA, 2026

The dissertation has been reviewed and approved for defense by the Departmental Council of the Department “Economics, Industrial Engineering and Management” at the Faculty of Management of the Technical University of Sofia at a regular meeting held on 9.02.2026.

The public defense of the dissertation will take place on 09.06.2026 at 15.00 hours in the Conference Hall of the Library and Information Centre of the Technical University – Sofia, at an open session of the scientific jury appointed by Order No. OJ-5.13-05 / 23.02.2026 of the Rector of TU–Sofia, composed as follows:

1. Prof. Dr. Eng Yordanka Angelova – Chairperson
2. Assoc. Prof. Dr. Ina Nikolova-Jahn – Scientific Secretary
3. Prof. Dr. Plamen Pavlov
4. Prof. Dr. Krasimir Krastanov
5. Assoc. Prof. DSc. Veselin Mitev

Reviewers of the Dissertation:

1. Prof. Dr. Eng Yordanka Angelova
2. . Prof. Dr. Plamen Pavlov

The materials related to the defense are available for reference at the office of the Faculty of Management of the Technical University of Sofia, Block No 3, Room No. 3235

The PhD candidate is a full-time doctoral student at the Department “Economics, Industrial Engineering and Management” of the Faculty of Management. The research presented in the dissertation has been conducted by the author.

Author: **MSc. Eng. Zeyad Mohammed Abdul Amir**

Title of the dissertation: **“Research and Evaluation of the Application of the Digital Twins Concept to Increase the Efficiency of Value-Added Chain”**

Print run: 30 copies

Printed at the Publishing and Printing Centre of the Technical University – Sofia

# I. GENERAL CHARACTERISTICS OF THE DISSERTATION

## Relevance of the Research Problem

The relevance of this research problem emerges from the accelerating shift toward Industry 4.0 and the growing necessity for organizations to transform traditional value chain structures into intelligent, integrated, and data-driven systems. As manufacturing environments become increasingly complex, fragmented, and vulnerable to inefficiencies and disruptions, conventional digital transformation efforts often remain outcome-focused rather than strategically embedded across the entire value-added chain. This gap limits the real economic value of technological investments and constrains long-term sustainability. The Digital Twin (DT) concept offers a transformative solution by enabling real-time synchronization between physical and digital systems, advanced simulation, predictive analytics, and continuous process optimization across procurement, production, logistics, and service functions.

Despite proven benefits of DT in sectors such as construction, healthcare, and automotive manufacturing, its systematic application within value chains—particularly in supply network integration and end-to-end operational efficiency—remains insufficiently explored both theoretically and empirically. Existing literature highlights fragmented adoption, limited strategic frameworks, and a lack of comprehensive models linking DT capabilities with value chain performance outcomes. This research directly addresses these gaps by examining DT as an enabling infrastructure for horizontal and vertical integration, real-time data utilization, intelligent decision-making, and long-term performance optimization within manufacturing ecosystems.

The relevance is further amplified in the context of the United Arab Emirates and the broader Gulf Cooperation Council (GCC) region, where substantial investments in digital infrastructure coexist with early-stage implementation of DT technologies in manufacturing value chains. While these economies possess strong technological readiness, limited empirical evidence, organizational understanding, and strategic deployment models restrict the realization of DT's full potential. This disconnect underscores the urgent need for research that clarifies enablers, barriers, institutional drivers, and measurable efficiency impacts of DT adoption in industrial environments.

From a scientific standpoint, the study advances interdisciplinary integration between digital transformation theory, institutional theory, cyber-physical systems, and value chain management. Practically, it offers evidence-based guidance for firms and policymakers seeking to improve efficiency, sustainability, and competitiveness through intelligent manufacturing systems. Socially and economically, the research supports resource optimization, waste reduction, resilience, and long-term industrial growth. Consequently, examining how Digital Twin technology enhances value chain efficiency is both timely and essential for advancing modern industrial strategy and sustainable economic development.

**Research Subject:** Value chain of the industrial enterprises

**Research question:** How does the application of the DT concept impact the efficiency of the “VC”?

## Goal of the Dissertation, Main Tasks, and Research Methods

The **goal of the dissertation** research is to analyze and evaluate the impact of applying value analysis and the Digital Twin (DT) concept on the efficiency of the “VC” of the enterprises.

For this main goal to be achieved, the following **main tasks** have to be done:

**1.15.1** Analysis of existing theoretical and applied approaches to the implementation and integration of the DT concept in the processes of the “VC”.

**1.15.2.** Develop an integrated model for the evaluation and implementation of DT in the “VC” with the aim of improving process efficiency, including methods for monitoring and management. The primary inquiry related to the model is: In what manner does the implementation of value analysis influence the efficacy of the "VC"? Several subsidiary inquiries arise from this principal question, as follows:

*1.15.2.1. What is the level of the DT concept application (data analysis) to increase the efficiency of the “VC”?*

*1.15.2.2 What is the level of the DT concept application (Actuators) to increase the efficiency of the “VC”?*

*1.15.2.3 What is the level of the DT concept application (integration) to increase the efficiency of the “VC”?*

*1.15.2.4 What is the level of the DT concept application (information) to increase the efficiency of the “VC”?*

**1.15.3** Development of a framework for examining the applicability of the model and validating its key variables.

**1.15.4.** Testing the methodological tools

For the purpose of fulfilling the assigned tasks this study employed both qualitative and quantitative **research methods**, which is why it is mixed-method. It entailed secondary data on dissertation and journals as well as primary data on an approved survey that included a five-point Likert scale. The research covered all stakeholders within the manufacturing sector of UAE where a random sample was used to collect responses. The analysis of the data was carried out by SPSS on the structured questionnaire and a comparison between the Arabic and English versions was intended to be conducted to be consistent.

### **Scientific Novelty**

The scientific novelty of the dissertation is that it uses the concept of a Digital Twin (DT) to develop an **integrated conceptual framework that will pervasively implement the concept of the Digital Twin (DT)** in the UAE manufacturing sector, which has little empirical coverage in emerging-economy settings. In contrast to the majority of the previous works dedicated to separated DT applications (e.g., predictive maintenance or single-stage optimization), the proposed model is explicit in its four interdependent enablers, i.e., data analysis, actuators, system integration, and enterprise information fusion, which are embedded in an unified structure (procurement, production, transportation, and delivery stages). The importance of this holistic approach is that it fills an extremely important gap in the literature by considering the VC as a complex system and not a set of functions operating independently. The model provides a sequential process of causes that highlights how the insights of real-time data analytics are the cause of accurate operational insights, virtual predictions are converted into physical actions through actuators, information silo is removed through integration, and information fusion is developed to create intelligent and adaptive decisions. The combination of the mixed-method design (quantitative survey of UAE manufacturing professionals with qualitative refinement in focus groups) would allow empirical validation that has hitherto been relatively limited specifically to the Gulf region. What is also added to the dissertation is a measurement of the overall synergistic impact of the

four enablers, where it has been demonstrated that their interdependence yields higher efficiency returns than any of the dimensions separately. The discovery builds on the existing DT and cyber-physical systems theory by providing a multi-dimensional, replicable framework that is specific to both institutional and operational realities of the UAE manufacturing. The implementation vision that is based on the tested model states what is required (technological, human, organisational, financial, regulatory) and how the proposed barriers can be mitigated, thus, the gap between theory and practise that can allow scalable adoption of DT is established. On the whole, the work contributes to the scientific knowledge by sealing the gaps associated with fragmented applications of the DT, absence of integrated enabler models, scanty UAE-specific empirical models, and inadequate analysis of the long-term effects of VC efficiency. The dissertation accomplishes this through its contributions by offering not only theoretical progress but also practical recommendations towards the realisation of sustainable, resilient and competitive value chains in Industry 5.0-driven manufacturing contexts.

### **Practical Applicability**

The viability of the proposed Digital Twin (DT)-value-added chain model is evidenced by the articulated, step-by-step implementation process that directly deals with identified weaknesses of the UAE manufacturing context in terms of inefficiencies. The model allows organisations to prove the value of DT at minimal risk by initiating pilot projects, as has been experienced in real-world projects like the development of Dutco Tennant and Nakheel Mall, as well as, to generate measurable returns (usually, 1520 percent cost, waste, and quality defect reduction through real-time simulation, predictive analytics, and process optimization) and gain the confidence of stakeholders before mass deployment. The proposed stepwise approach is not only a quick method to demonstrate return on investment (ROI) but also completely compliant with UAE Vision 2031 and national Industry 4.0 to use the existing DT platforms, risk management tools that are operated by AI, improve connectivity of systems and allow leveraging the existing government incentive programmes to create a sustainable, innovative and resilient manufacturing ecosystem. The pilot-led adoption which is the centre of focus of the model makes it available to organisations of diverse sizes and technological sophistication with minimal disruption but maximum early wins in the operational efficiency and competitiveness. Finally, the framework converts the theoretical DT capabilities into practical, contextualised results that will, in the long term, facilitate economic diversification and sustainability goals in the UAE.

### **Validation**

Perspective validation used scientific arbitration and field approval. A focus group of seven industry reps at a major Emirati industrial site discussed its relevance, rating fit, feasibility, viability, and scalability while noting improvements like KPIs, training, and pilot testing. Its broad policy recommendations, supported by statistical data ( $R^2=43.7\%$  overall, 71% in data analysis) and model comparisons (e.g., Nada and Dawood, 2022; Mohammed et al., 2024), received expert approval for phased deployment, with potential expansion to oil and gas, pharmaceuticals, and aviation.

### **Publications**

Three publications have been produced in connection with the dissertation, which are indexed in Scopus.

### **Structure and Volume of the Dissertation**

The dissertation comprises **173** pages, including an introduction, **4** chapters addressing the defined objectives, a list of main contributions, a list of publications related to the dissertation, appendices, and a list of references. In the dissertation, 175 bibliographic sources are mentioned. All mentioned sources are written in Latin script; some of them

are obtained via internet scientific platforms and databases. The dissertation contains a total of **38** figures and **26** tables. The numbering of figures and tables in the author's abstract corresponds to those in the dissertation.

## **II. CONTENT OF THE DISSERTATION**

### **CHAPTER 1: METHODOLOGICAL FRAMEWORK AND RESEARCH STRUCTURE OF THE DISSERTATION**

Chapter One establishes the methodological framework, theoretical foundations, and logical structure of the dissertation. It defines the research problem arising from the limited and fragmented application of the Digital Twin (DT) concept for improving the efficiency of the value-added chain (VC), particularly within the manufacturing sector of the United Arab Emirates.

The chapter is grounded in the understanding that the value-added chain is a dynamic system whose efficiency depends on the degree of technological, informational, and organizational integration across its stages. Although digital transformation initiatives associated with Industry 4.0 have significantly expanded the use of advanced technologies, existing approaches often prioritize short-term outcomes rather than strategic and systematic implementation. This outcome-oriented focus frequently results in inefficient allocation of resources and suboptimal returns on investments in digital solutions.

Within this context, Digital Twin technology is introduced as a key enabler of real-time interaction between physical assets and their virtual counterparts through bidirectional data exchange. The chapter reviews the evolution, definitions, characteristics, and core components of Digital Twin technology, emphasizing its role in monitoring, simulation, prediction, and optimization of industrial processes. Digital Twin is examined as a tool capable of supporting decision-making and operational coordination across the entire value-added chain, from design and production to logistics, maintenance, and service.

A significant part of the chapter is devoted to the theoretical framework underpinning the study. Institutional theory is employed to explain the organizational and environmental pressures influencing the adoption of Digital Twin technologies. Coercive, normative, and mimetic pressures are discussed as key drivers shaping firms' decisions in the context of digital transformation. These perspectives are complemented by Digital Twin theory, Cyber-Physical Systems theory, Model-Based Systems Engineering (MBSE), and semantic modeling, which together provide the technological and engineering foundations for understanding how Digital Twin systems are designed, implemented, and integrated throughout their lifecycle.

The chapter further examines the concept of the value-added chain, outlining its main components and its strategic importance for manufacturing competitiveness. Particular emphasis is placed on the relationship between Digital Twin and the value-added chain, highlighting the potential of DT technologies to enhance operational transparency, optimize resource utilization, reduce costs, and improve flexibility and resilience within manufacturing systems.

Based on a comprehensive review of the literature, Chapter One identifies several unresolved tasks and research gaps – figure 1-13-1. Although Digital Twin technologies have been applied to improve performance, optimize processes, and reduce time-to-market in sectors such as construction, automotive, and healthcare, their application

within the broader value-added chain context remains insufficiently explored. Current digital transformation practices tend to emphasize outcomes rather than strategic implementation, resulting in ineffective investment decisions and fragmented adoption. Moreover, there is no comprehensive model that integrates Digital Twin technology with value analysis to enhance value chain efficiency, nor is it clear how extensively Digital Twin should be utilized across data analysis, actuators, system integration, and information flow.

Unsolved tasks (Research gaps)
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Current DT methods lack a clear strategy for VC integration, focusing more on digital outcomes than structured implementation.</li> <li>2. No existing model combines Value Analysis + Digital Twin to improve value chain efficiency, leaving conceptual and methodological gaps.</li> <li>3. The levels of DT application-data analysis, integration, and information – have not been measured within the VC in previous studies.</li> <li>4. The long-term impact of DT on supply chain and VC performance remains unclear, especially regarding cost reduction and carbon footprint.</li> <li>5. DT research is still limited in the GCC, particularly in manufacturing sector</li> </ol>

**Figure (1-13-1) Unsolved tasks (Research gaps)**

In response to the identified research gaps, the chapter formulates the main goal of the dissertation, the research tasks, and the study hypotheses. These elements provide a coherent conceptual and methodological foundation for the subsequent chapters, which focus on the development and empirical validation of an integrated model for applying Digital Twin technology to improve the efficiency of the value-added chain in manufacturing enterprises.

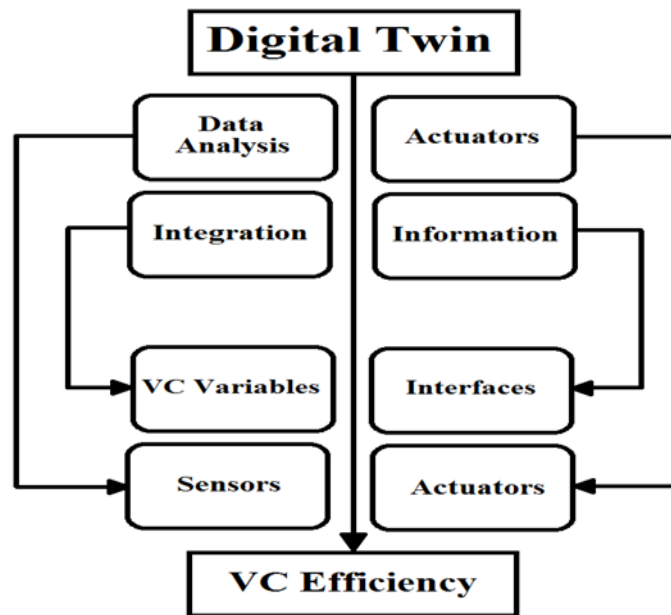
**CHAPTER 2: INTEGRATED MODEL AND RESEARCH METHODOLOGY**

In this chapter the researcher focuses on the second task of the thesis, which aims to define the theoretical concept of the integrated model designed to evaluate and apply the concept of digital twins within the value chain.

In the second paragraph the conceptualization of the integrated model is presented (2.1.1.). The researcher's proposed model is grounded primarily in the Institutional Theory, which provides a comprehensive framework for understanding why organizations adopt advanced digital technologies. In the context of the UAE manufacturing industry, digital transformation is driven less by mere technical modernization and more by normative pressures and national strategic visions, such as initiatives aligned with the "Fourth Industrial Revolution." Institutional Theory is particularly suitable here because it explains how industrial enterprises pursue legitimacy and competitive advantage by conforming to external pressures, including government regulations, industry standards, and societal expectations. This ensures that the model is contextually anchored, reflecting the broader organizational ecosystem where governance, culture, and regulatory systems influence the adoption of Digital Twins. To operationalize this organizational environment into a technical implementation, the researcher incorporates Digital Twin Theory and Model-Based Systems Engineering (MBSE) into the model.

Digital Twin Theory establishes the principle of mirroring, whereby physical assets—such as machines, production lines, and other resources—are replicated in a virtual environment using sensors and actuators. However, complex industrial value chains require more than mere data collection; therefore, MBSE is employed to provide structured, integrated system architecture. The third and most critical conceptual layer integrates Semantic Modeling and an Ontological Framework to provide system intelligence. This layer addresses semantic interoperability, enabling the system to interpret large volumes of raw sensor data in context. By utilizing a problem-solving ontology, the model links physical events to their operational significance. In summary, the proposed model is justified at each conceptual layer. Coercive pressures arise primarily from federal initiatives such as UAE Vision 2031 and Dubai Industrial Strategy 2030. Normative pressures stem from international standards such as ISO 23247 for Digital Twins. Mimetic pressures are evident when leading firms publicly implement Digital Twins. Consequently, successful Digital Twin adoption confers cognitive, pragmatic, and moral legitimacy. Model-Based Systems Engineering (MBSE) is operationalized using the Systems Modeling Language (SysML). Semantic interoperability is achieved through an OWL 2 DL ontology aligned with existing standards.

In paragraph 2.1.1.1, the linking of DT variables to value chain efficiency is described. The suggested integrated model describes value creation as the outcome of digitally facilitated data analysis, system integration, actuation, and information transparency between value chain activities. The DT dimensions do not work as autonomous functions but rather, in combination, process, interpret, and act on system data. Moreover, the process of integration is strengthened with the uninterrupted connection between sensors and VC variables. Consequently, VC efficiency is no longer founded on fixed assumptions, but updated system states. The DT creates information as a central coordinating dimension uniting analysis, integration, and actuation into VC efficiency. Therefore, the high degree of integration of the model is its closed-loop nature whereby sensing, analysis, decision-making, and actuation are linked and are all aimed at VC efficiency. Thus, the DT does not simply provide support to VC as an external instrument, but it is a structural component of the VC process. Thus, the model can be further outlined through a visual demonstration along with a compendious outline of the main components of DT and VC efficiency as follows - Figure (2-1-1-1):



**Figure (2-1-1-1): Depicts the Integrated Model of the Study**  
**Source: (Conducted by the researcher)**

### 1. Digital Twin (DT)

- At the top, the Digital Twin is the central concept.
- It consists of four main components:
- **Data Analysis** – Processing and analyzing data from the physical system.
- **Actuators** – Mechanisms that perform actions based on the system’s needs.
- **Integration** – Connecting various system components for coherent operation.
- **Information** – Generating knowledge and insights for decision-making.

### 2. VC Efficiency

The Digital Twin contributes directly to Virtual Commissioning (VC) Efficiency, which is the effectiveness of simulating and optimizing systems before physical implementation

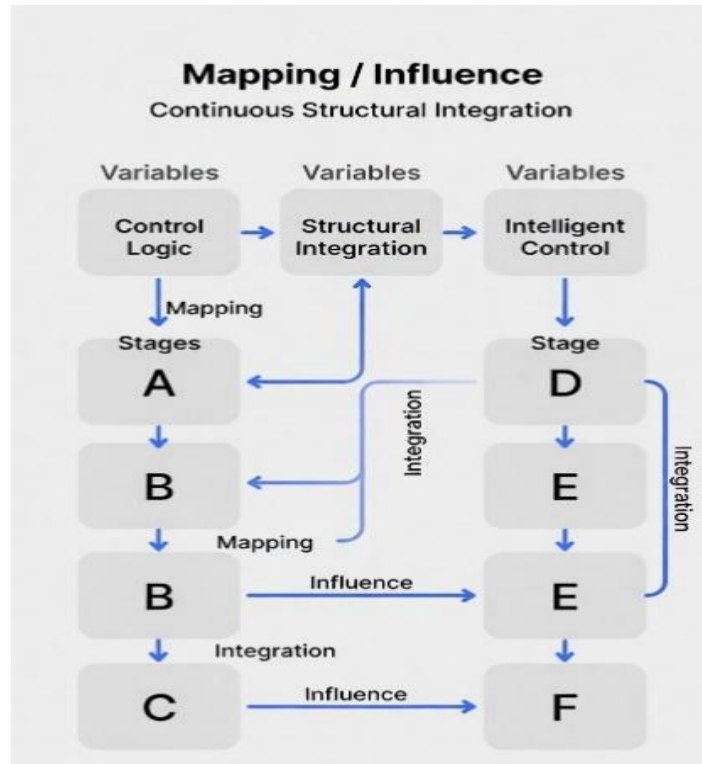
### 3. Feedback Loops

- Sensors (Data Acquisition) – Collect data from the system’s operations.
- VC Variables (Operational Metrics) – The data from sensors is transformed into metrics that represent system performance.
- These two interact in a feedback loop to continuously monitor and improve performance.
- Actuators (Action Execution) – Execute actions in the physical or simulated system.
- Interfaces (System Interaction) – The actuators work with interfaces to interact with the system.
- These two also interact in a loop to ensure proper control and execution.

In summary the integrated model (figure 2-1-1-1) of the research, where the Digital Twin (DT) framework improves the efficiency of (VC). The DT is composed of four main elements, namely, the data analysis, actuators, integration, and information components, that would assist in a more precise system simulation and decision-making. These elements contribute to VC efficiency, which is also dependent on two subsystems that are important: sensors and actuators. Sensors are used to obtain data

and produce VC operational variables, and actuators are used to perform actions and communicate with the interfaces of the system.

In paragraph 2.1.2 is presented the structure and most important variables of the proposed Integrated model and the mapping/influence continuous structural integration is explained in more details – figure Figure (2-1-2-1). In other words, here is presented the methodological phase of the dissertation research.



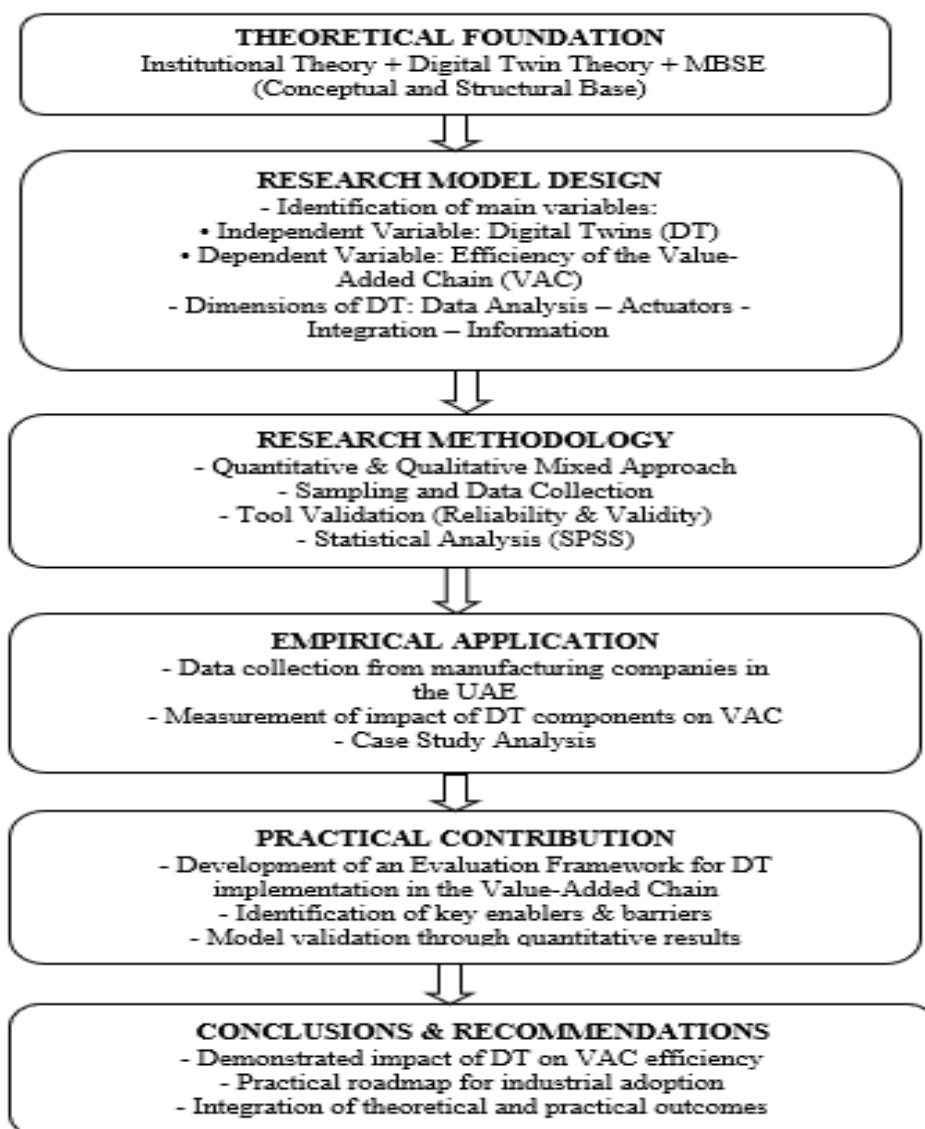
**Figure (2-1-2-1) Functional Flow Diagram**  
**Source: Conducted by the Researcher**

The figure (2-1-2-1) illustrates a model linking a Design-oriented System (DT System) with specific process stages (VC Model). Here's an explanation of the key elements in the image:

- **System (DT System):** This includes variables such as control logic, structural integration, and intelligent control. These elements indicate how the system operates as a whole.
- **Model (VC Model):** This represents the process stages, comprising several stages (Stage A to Stage F). The model indicates how the process transitions from one stage to another.
- **Functional Relation:** It shows how the system is connected to these stages, implying that there is a continuous interaction between integrated design and the structuring of stages.

The present study adopts a multi-level integrative framework in which Institutional Theory operates at the macro (environmental) level to explain why UAE manufacturing firms adopt Digital Twins (coercive, normative, and mimetic pressures, plus legitimacy-seeking behavior). At the meso level, Digital Twin Theory and Cyber-Physical Systems (CPS) provide the core technological foundation, ensuring real-time bidirectional interaction between physical assets and their virtual counterparts. Model-Based

Systems Engineering (MBSE), implemented through SysML, serves as the methodological backbone that structures and aligns all system components. Finally, the semantic and ontological layer (using OWL ontologies and standards such as OPC UA) guarantees semantic interoperability across heterogeneous systems. This hierarchical integration, illustrated in Figure 2-1-1-1, creates a coherent pathway from external institutional pressures to internal technological implementation and, ultimately, to measurable improvements in value-chain efficiency. The procedural logic of the research is depicted in Figure (2-1-3-1), and conceptual and operational structure of the integrated model, which is closely related, is in Figure (2-1-1-1). The flowchart converts the theoretical basis, which is the Institutional Theory and Digital Twin Theory into quantifiable variables, in which Digital Twin is the independent variable and Value-Added Chain (VAC) efficiency is the dependent variable as incorporated in the integrated model. The operationalization of the model is done through the methodology and stages of empirical application, which establish how the model components are indicated and tested in the context of the UAE manufacturing companies. In general, the flowchart is the map of conducting the research, and the integrated model is an analytic and explanatory design of the research. Figure (2-1-3-1) is the procedural logic of the research and Figure (2-1-1-1) shows the conceptual and operational structure of the integrated model and they are strongly aligned. The flowchart starts with the theoretical basis that directly informs the combined model because it is based on the Institutional Theory and Digital Twin Theory. The theoretical basis of implementing Digital Twins and its anticipated impact on the value chain efficiency, which is implemented in the integrated model, are explained. These theories are converted into measurable variables during the research model design stage of the flowchart in which the Digital Twin is the independent and Value-Added Chain (VAC) efficiency is the dependent outcome, relationships that are explicitly represented in the integrated model. Moreover, the methodology phase of the flowchart operationalizes the integrated model because it defines how its elements (data analysis, sensors, actuators, integration, and interfaces) will be empirically measured and tested. The empirical application phase would be application of the integrated model on UAE manufacturing companies in order to determine the impact of Digital Twin components on VAC efficiency. Contribution stage involves the practical contribution which incorporates the validation of the integrated model using real evidence and proving its effectiveness beyond theory. Lastly, conclusions and recommendations based on the flowchart are made as a direct result of the understanding that was produced by the integrated model, and this is because the flowchart is considered the roadmap of research execution whereas the integrated model is considered the roadmap of analysis and explanatory piece of the study.



**Figure (2-1-3-1) Research Flowchart**

For the purposes of empirical research (paragraph 2.4) is used a descriptive methodology, a subset of quantitative research, characterized as a comprehensive examination of a phenomena within a particular group, location, and temporal context. It is a systematic approach to scientific research and interpretation aimed at addressing specific objectives related to a social issue.

A study population (paragraph 2.5) is delineated as the entirety of sample units to which it pertains, with explicit identification of the sampling unit, the attributes to be examined, and the employed variables. The identification of the study population is contingent upon the study's purpose, ensuring alignment with the intended community. The discrepancy between the study population and the target population renders the generalization of the sample results to the target group scientifically invalid. The present research population comprises all individuals engaged in the manufacturing industry within the UAE. Owing to the substantial size of the community and the challenge of ascertaining their overall population, the researcher employed a sampling strategy, where a random sample of the study community was selected from those who have experience in the manufacturing sector in the UAE in various fields, amounting to (384)

individuals, by creating an electronic link on Google Form and distributing the link through various social networking sites.

The study sample included a group of diverse industrial entities in the UAE, both large and medium-sized, including food, engineering, and petroleum industries, as well as hardware industries. This group was selected based on its perceived impact on DT and digital blockchains.

**“Table (2-5-1) Number and Percentage of Handed out and Collected Questionnaire”**

Handed out questionnaires	Collected valid questionnaires	%
384	373	98.95%

In paragraph 2.6 the respondent characteristics are described.

**A. Segmentation of respondents as per gender:**

**“Table (2-6-1) Gender Characteristics”**

Variable	Segments	F	%	Total
Gender	Men	194	%52	373
	Women	179	%48	

The foregoing data, indicated that the (Male) segment obtained the uppermost percentage as per gender, which amounted to (52%), followed by (48%), which was yielded by the (female) segment.

**B. Segmentation of respondents as per age:**

**Table (2-6-2) Segmentation of respondents as per age**

Variable	Categories	Frequencies	Percentage	Total
Age	Less than 30 years old	142	%38.1	373
	From 30 to 40 years	178	%47.7	
	From 41 to 50 years	43	%11.5	
	51 years and above	10	%2.7	

The foregoing data, indicated that the uppermost percentage, as per age, was (47.7%) yielded by the (30 to 40 years of age) segment, followed by (38.1%), attributed to (less than 30 years), while the lowest percentage was (2.7%) or (those aged 51 years and above).

**C. Segmentation of respondents as per years of experience:**

**Table (2-6-3) Segmentation as per years of experience**

Variable	Categories	Frequencies	Percentage	Total
Years Of Experience	Less than 5 years	103	%27.6	373
	From 5 to less than 10 years	195	%52.3	
	10 years and more	75	%20.1	

The foregoing data, indicated that the uppermost percentage, as per years of experience, was (52.3%), attributed to (from 5 to less than 10 years), followed by (27.6%), attributed to (less than 5 years), while the lowest percentage was (20.1%), attributed to (10 years and more).

In paragraph 2.7 the tool and procedure for verifying its Psychometric properties are presented. In this respect a questionnaire was designed and administered to investigate and evaluate the extent of the application of DT to increase the “VC”.

**Internal Consistency Validity of the Questionnaire Axes”**

To ascertain "internal consistency validity," the researcher reckoned the correlation coefficients between the scores of each statement and the overall score of the corresponding axis.

**Axis (1): DT**

The validity of internal consistency was assessed by estimating the correlation coefficients between the scores of each statement and the total score of the relevant dimension of the first axis of the questionnaire. The subsequent table (2-7-2-1) determines the outcomes:

**Table No. (2-7-2-1) Pearson correlation coefficients of Axis (1)**

Ser.	r.	Ser.	r.	Ser.	r.
<b>Dimension (1): Data Analysis</b>					
1	.713**	2	.833**	3	.782**
4	.731**	5	.828**	6	.780**
7	.751**	8	.721**	9	.799**
10	.843**				
<b>Dimension (2): Actuators</b>					
11	.765**	12	.773**	13	.869**
14	.787**	15	.778**	16	.824**
17	.823**	18	.775**		
<b>Dimension (3): Integration</b>					
19	.719**	20	.736**	21	.712**
22	.830**	23	.804**	24	.740**
25	.771**	26	.782**	27	.789**
<b>Dimension (4): Information</b>					
28	.739**	29	.781**	30	.780**
31	.847**	32	.868**	33	.775**
34	.774**				

\*\*Statistically indicative at (0.01)

The foregoing data, according to table (2-7-2-1), revealed that (r.) values of the statements and the overall of the corresponding dimension of axis (1), DT, were all statistically indicative. All (r.) values were indicative in the dimension (1) : Data Analysis, falling in the range of (.713\*\*-.843\*\*), in the dimension (2): Actuators, between (.765\*\*-.869\*\*), in the dimension (3): Integration, between (.712\*\*-.830\*\*), and in the dimension (4): Information, between (.739\*\*-.868\*\*), revealing surmount degree of Internal consistency validity for the relevant statements.

**Axis (2): The efficiency of the “Value Chain”**

Internal consistency validity was calculated by calculating the Pearson correlation coefficient between the scores of each statement and the total score for the second axis in the questionnaire. The results are shown in the following table (2-7-2-2):

**Table (2-7-2-2) Pearson correlation coefficients of Axis (2): The efficiency of the “Value Chain”**

Ser.	r.	Ser.	r.	Ser.	r.
35	.721**	36	.793**	37	.805**
38	.843**	39	.831**	40	.855**
41	.818**	42	.845**	43	.842**
44	.817**	45	.741**	46	.708**

\*\* Statistically indicative at (0.01)

The foregoing data, according to table (2-7-2-2), revealed that (r.) values of the statements and the overall of axis (2), The efficiency of the “VC”, all (r.) values were indicative at the (0.01), ranging between (0.708\*\*-0.855\*\*) in axis (2), revealing surmount degree of Internal consistency validity for the phrases of the corresponding axis

**Paragraph 2.7.3 dicussed the Overall construct validity of the first axis: DT** The overall construct validity of the questionnaire's axes was verified by finding correlation coefficients between the total score for each axis and the overall mean for the questionnaire as a whole. The results are shown in the following table (2-7-3-1):

**Table (2-7-3-1) Matrix of the correlation of the dimension with the total score of the questionnaire**

Dimensions	Total score	Dimension (1): Data Analysis	Dimension (2): Actuators	Dimension (3): Integration	Dimension (4): Information
Total score	1	-	--	--	--
The first dimension: Data Analysis	.922**	1	--	--	--
The Second Dimension: Actuators	.920**	.948**	1	--	--
The Third Dimension: Integration	.878**	.678**	.681**	1	--
The Fourth Dimension: Information	.843**	.631**	.627**	.785**	1

The preceding data, according to table (2-7-3-1), revealed that (r.) values between the total score for each dimension and the overall mean of the questionnaire as a whole obtained high value, ranging between (.627\*\*-0.948\*\*) and they were all statistically indicative at (0.01), unveiling a surmount score of construct validity for the questionnaire.

**Paragraph 2.7.3 discussed the overall construction validity of the first axis: DT**

The preceding data, according to table (2-7-3-1), revealed that (r.) values between the total score for each dimension and the overall mean of the questionnaire as a whole obtained high value, ranging between (.627\*\*-0.948\*\*) and they were all statistically indicative at (0.01), unveiling a surmount score of construct validity for the questionnaire.

**Table (2-7-3-1) Matrix of the correlation of the dimension with the total score of the questionnaire**

Dimensions	Total score	Dimension (1): Data Analysis	Dimension (2): Actuators	Dimension (3): Integration	Dimension (4): Information
Total score	1	-	--	--	--
The first dimension: Data Analysis	.922**	1	--	--	--
The Second Dimension: Actuators	.920**	.948**	1	--	--
The Third Dimension: Integration	.878**	.678**	.681**	1	--
The Fourth Dimension: Information	.843**	.631**	.627**	.785**	1

**Paragraph 2.7.4 discussed Reliability of the Study Tool (Questionnaire)**

To verify the reliability of the study tool, the researcher calculated the reliability of the questionnaire using Cronbach's alpha and split-half methods. Cronbach's alpha equation relies on the variances of questionnaire statements and requires that the questionnaire dimensions measure only one characteristic. Therefore, the researcher calculated the reliability coefficient for each axis separately. In the split-half method, the researcher attempts to measure the correlation coefficient for each axis after dividing its statements into two sections (equal if the number of axis items is even, unequal if the number of axis statements is odd). The correlation coefficient is then entered into the Spearman-Brown prophecy formula for split-half and Guttman's equation. As shown in the table (2-7-4-1):

**Table (2-7-4-1) Reliability Coefficients of Questionnaire Axis**

Axes	Dimensions	Statements No.	Reliability Coefficients Values		
			Cronbach's alpha Coefficient	Spearman-Brown Coefficient	Guttman Coefficient
The first Axis: DT	The first dimension: Data Analysis	10	.927	.948	.948
	The Second Dimension: Actuators	8	.919	.923	.923
	The Third Dimension: Integration	9	.910	.865	.854
	The Fourth Dimension: Information	7	.901	.926	.901
	Total score	34	.911	.823	.928
The Second Axis: The efficiency of the "VC"	Total score	12	.949	.987	.987

The previous table (2-7-4-1) shows that all the Cronbach's alpha reliability coefficients values were high, ranging in the first axis: DT between (0.901-0.927). The first axis' reliability value was high, reaching (0.911). The second axis reliability value: the efficiency of the "VC" was high, reaching (0.949). The reliability coefficient values for the

questionnaire axes, using the split-half method using the Spearman-Brown equation, were high, ranging in the first axis, DT, between (0.865-0.948). The second axis: the efficiency of the “VC” was (0.987). The reliability coefficient values, estimated by applying the Guttman equation, ranged on the first axis between (0.854-0.948). The second axis, the efficiency of the “VC” (0.987), indicates the reliability of the tool and its suitability for application and confirms the reliability of its results.

**In paragraph 2.10 the main findings from Chapter 2 are discussed.**

Chapter Two demonstrates that the proposed research methodology is theoretically grounded in a multi-layered conceptual structure that brings together organizational, technological, and semantic perspectives to explain how Digital Twin systems can enhance value-chain efficiency. The chapter shows that the adoption of Digital Twins in the UAE manufacturing sector is not merely a technical decision but is shaped by institutional forces such as national digital-transformation agendas, regulatory expectations, and the need for organizational legitimacy. This confirms that Digital Twin implementation must be understood within a broader socio-organizational environment rather than as a purely engineering-driven intervention.

The integrated model developed in Chapter Two leads to a unified theoretical and operational framework that explains how Digital Twins can systematically enhance value-chain efficiency. At the conceptual level, the model integrates institutional forces, engineering principles, and semantic intelligence into a single structure that connects organizational motives with technological execution. This integration demonstrates that successful Digital Twin adoption occurs when institutional logic, system architecture, and cognitive interpretation operate together in a mutually reinforcing cycle.

The model shows that efficiency improvements arise from a continuous feedback loop that links data acquisition, semantic interpretation, integration across departments, and physical execution through actuators. Rather than presenting Digital Twins as static visualization tools, the model illustrates them as dynamic systems that convert raw operational signals into meaningful insights and then into coordinated actions. Through this cyclical interaction, the model explains how organizations can achieve real-time optimization, cross-functional coordination, and synchronized operational responses.

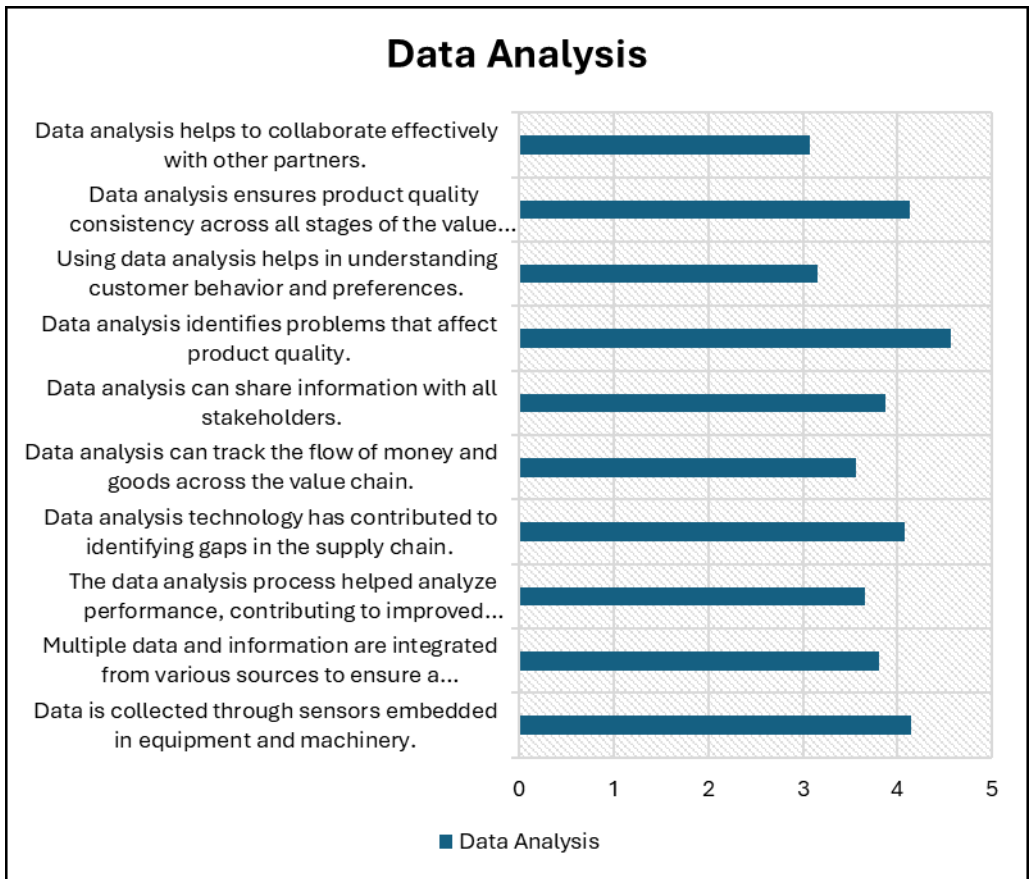
A central outcome of the integrated model is the establishment of a clear pathway from environmental pressures to internal performance enhancement. The model demonstrates that external institutional pressures motivate firms to adopt advanced digital systems; Digital Twin Theory and MBSE provide the structural means for building these systems; and semantic modeling ensures contextual intelligence that aligns technical outputs with strategic objectives. Together, these elements show that Digital Twins become agents of both technological advancement and organizational legitimacy. Finally, the model leads to a comprehensive understanding of how Digital Twins contribute to value-chain performance by linking virtual intelligence to physical action. It highlights that improvements in efficiency do not stem solely from advanced data processing but from the ability of the system to interpret information meaningfully, distribute it coherently across the value chain, and convert it into coordinated operational actions. This theoretical outcome provides the conceptual justification for empirically testing the model in Chapter Three.

### **CHAPTER 3. COMPREHENSIVE EVALUATION AND INTERPRETATION OF THE PROPOSED MODEL BASED ON EMPIRICAL RESEARCH**

Chapter Three is the empirical heart of the dissertation in which the combined conceptualization of Digital Twin-value-added chain as the conceptualised concept in Chapter Two is rigorously tested and interpreted based on actual real-world data of UAE manufacturing professionals. It starts by determining a mean-score criterion of objectively assessing the respondent perceptions at every questionnaire item and dimension, such that it is consistent, transparent, and replicable analysis in tandem with the validated psychometric characteristics of the instrument. The chapter then logically examines the four main Digital Twin enablers; data analysis (to provide analytical intelligence and predictive insight), actuators (to provide the ability to perform closed-loop physical execution), integration (to provide the ability to establish the bi-directional linkage between operational and enterprise data), and information (to support intelligent sustainable decision-making) on a systematic basis using descriptive statistics which show a strong consensus on what each dimension adds to the value-added chain efficiency. The hypotheses of the study are then tested using inferential techniques, mostly regression analysis which confirms statistically significant positive relationships between the enablers and overall chain performance with the combined synergistic effect being much higher than any of the individual factors. Lastly, the chapter summarises these empirical findings into an experimental discussion relating the findings to existing theory, the creation of a comprehensive practical implementation vision which meets the requirements and obstacles, and ends with the validation of the structural soundness of the model, operational efficiency, and readiness to support a scaled implementation of Digital Twin adoption to the UAE manufacturing setting.

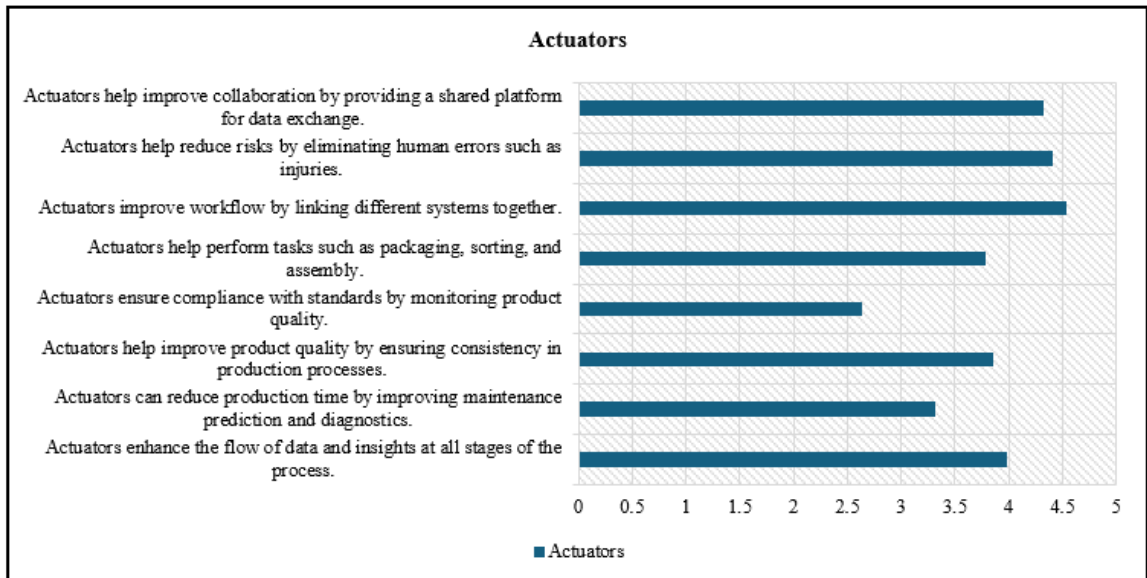
#### **3.3.1 Review, Explanation, and investigation of the results of Q (1): To what extent does the application of the concept of DT (data analysis) enhance the efficiency of the VC?**

The foregoing data in Figure (3-3-1-1) revealed that the first dimension, data analysis, obtained a mean of (3.89) and SD of (0.423), indicating a (high) response degree. Ranked first was statement number (7): Data analysis identifies problems that affect product quality, with a mean of (4.56) and SD of (1.019), indicating a very (high) response degree. In second rank was statement number (1): Data is collected through sensors integrated into equipment and machines, with a mean of (4.15) and SD of (1.272), indicating a (high) response degree. In the last rank was statement number (10): Data analysis helps effectively collaborate with other partners, with a mean of (3.07) and SD of (1.386), indicating a (moderate) response degree. The SDs for statements in the first axis ranged between (1.019 and 1.605), which are high values indicating variation in the study sample's opinions towards these statements.



**Figure (3-3-1-1) illustrates the means regarding Data Analysis**

### 3.3.2 Secondly: Review, Explanation, and investigation of the results of Q (2): To what extent does the application of the concept of DT (Actuators) enhance the efficiency of the VC?



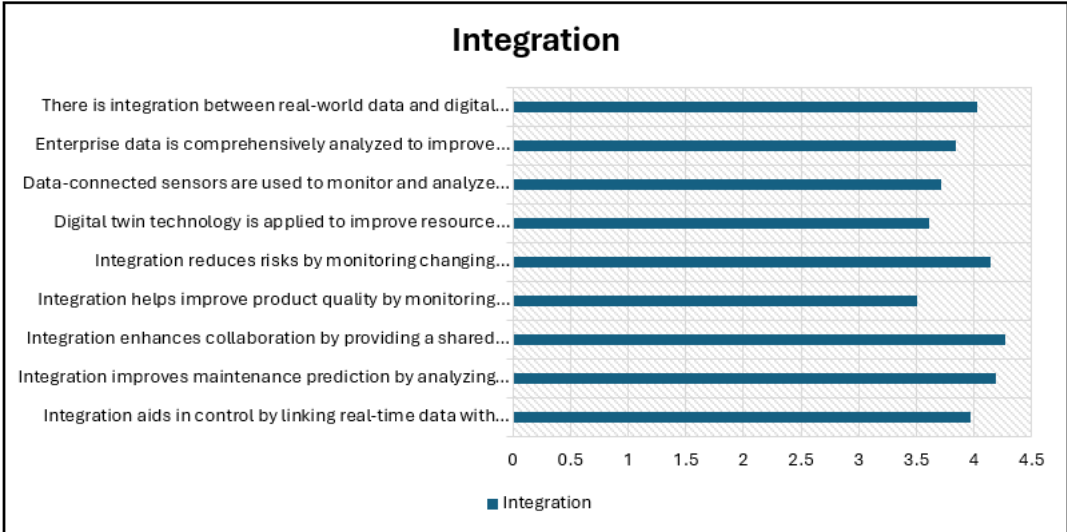
**Figure (3-3-2-1) illustrates the means the Actuators.**

The figure (3-3-2-1), indicated that the second dimension: actuators received a (high) response degree, with a mean of (3.60) and SD of (.579). In the first rank was statement number (16) Actuators improve workflow by linking different systems together with a mean of (4.54) and SD of (1.086), indicating a (very high) response degree. In second

rank was statement number (17) Actuators help reduce risks by eliminating human errors such as injuries with a mean of (4.41) and SD of (1.134), also indicating a (very high) response degree. The last order was statement number (14) Actuators ensure compliance with standards by monitoring product quality, with a mean of (2.64) and SD of (1.470), indicating a (moderate) response degree.

**3.3.3 Third: Review, Explanation, and investigation of the results of Q (3), which was: To what extent is the concept of DT (integration) applied to increase the efficiency of the “VC”?**

The foregoing data in Figure (3-3-3-1) revealed that the overall mean for the third dimension: integration, received a (high) response degree, with a mean of (4.05) and SD of (.514). In the first rank was statement number (21) Integration enhances collaboration by providing a shared platform for data exchange, with a mean of (4.27) and SD of (1.244), indicating a (very high) response degree. In second rank was statement number (20) Integration improves maintenance prediction by analyzing data from sensors, with a mean of (4.19) and SD of (1.338), indicating a high response degree. The last in order was statement number (22) Integration helps improve product quality by monitoring environmental conditions, with a mean of (3.51) and SD of (1.602), also indicating a (high) response degree.



**Figure (3-3-3-1) illustrates the means regarding integration**

**3.3.4 3.3.4 Fourth: Review, Explanation, and investigation of the results of Q (4), which was: To what extent is the concept of DT (information) applied to increase the efficiency of the “VC”?**

The data in Figure (3-3-4-1) indicated that the overall mean for the fourth dimension: information, received a (high) response degree, with a mean of (3.98) and SD of (.764). In the first rank was statement number (29) AI is leveraged to improve production and reduce costs, with a mean of (4.45) and SD of (1.105), indicating a very (high) response degree. In second rank was statement number (34) Digital transformation in the industry contributes to tangible improvements in VC management, with a mean of (4.17) and SD of (1.230), indicating a (high) response degree. The last in order was statement number (32) Information integration helps in implementing smart production methods, with a mean of (3.34) and SD of (1.198), indicating a (moderate) response degree.

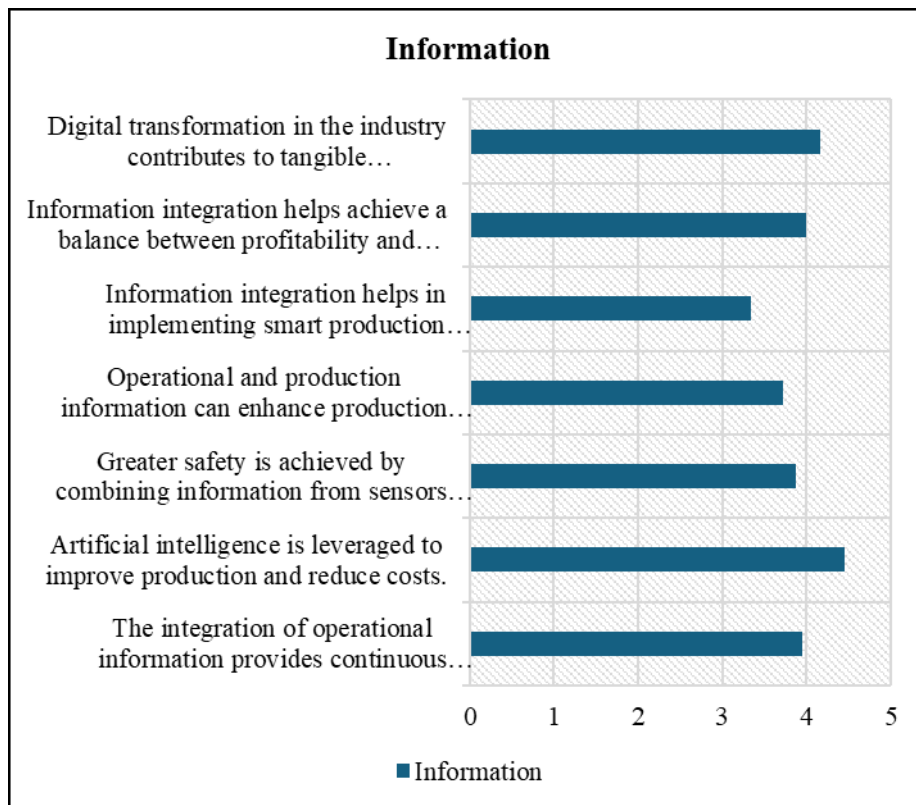


Figure (3-3-4-1) illustrates the means regarding information

### 3.3.5. Fifth: Review, Explanation, and investigation of the results of Q (5):

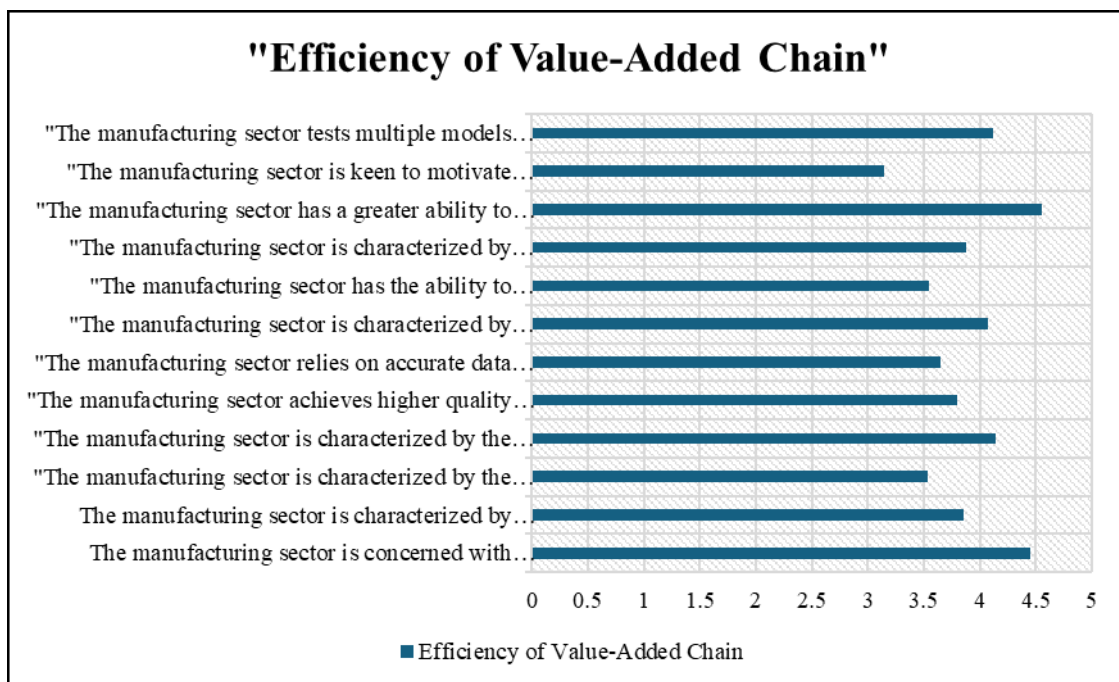


Figure No. (3-3-5-1) The means regarding the efficiency of the "VC"

The foregoing data in Figure (3-3-5-1) revealed that the overall average for the efficiency of the "VC" came in at a mean of (3.90), SD of (0.399), and a response degree of (high). Statement No. (44) (The manufacturing sector has a greater ability to respond to market changes and competition.) came in first rank, with an arithmetic mean of (4.55), SD of (1.022), and a response degree of (very high). Statement No. (35) (The manufacturing sector is concerned with monitoring employee performance and

identifying their training needs) came in second place, with an arithmetic mean of (4.45), SD of (1.110), and a response degree of (very high). Statement No. (45) (The manufacturing sector is keen to motivate employees through feedback based on actual performance) came in last rank, with an arithmetic mean of (3.14), SD of (1.388), and a response degree of (moderate).

### 3.4 Section (2): Hypotheses

#### 3.4.1 Main H-1: There is no statistically significant effect at the significance level ( $\alpha=0.05$ ) of DT on the efficiency of the “VC”

To verify this hypothesis, simple linear regression analysis was adopted, as illustrated in the following table (3-4-1-1):

**Table (3-4-1-1) illustrates the impact of DT on the efficiency of the “VC”**

<i>Independent Variable</i>	<i>B</i>	<i>Beta</i>	<i>R</i>	<i>R2</i>	<i>T.value</i>	<i>Sig.T</i>
<i>DT</i>	.682	.661	.661a	.437	16.974	.000
<i>Dependent Variable</i>	<i>The efficiency of the “VC”</i>					
<i>Constant Coefficient</i>	1.247					
<i>Adj R2</i>	.436					
<i>Value F</i>	288.111					
<i>Sig F</i>	.000b					

The previous data revealed in table (3-4-1-1) indicated that there is a statistically significant effect of DT on the efficiency of the “VC”, as the (R) value was (0.661a) with a significance level of (0.000b). DT also make a 43.7% of the variance of problem identification according to the ( $R^2$ ) value, and the value of (F) reached (288.111). Based on the above, it was found that DT affects VC by 66.1%, which results in changes in the VC variable by 43.7%, and the remaining percentage, which amounts to 56.3%, is due to the effect of other factors that were not addressed in the current study. Therefore, the null hypothesis, which states that there is no statistically significant effect at the significance level ( $\alpha=0.05$ ) of DT on the efficiency of the “VC”, is rejected, and the alternative hypothesis, which states that there is no statistically significant effect at the significance level ( $\alpha=0.05$ ) of DT on the efficiency of the “VC”, is accepted.

#### 3.4.2. First: Review, illustration, and analytical explanation of the results of sub-H (1), There is no statistically significant effect at the significance level ( $0.05 \geq \alpha$ ) of data analysis on the efficiency of the “VC”.

Simple linear regression analysis was adopted to verify the validity of this hypothesis, as shown in Table (3-4-2-1)

**Table No. (3-4-2-1) illustrates the effect of data analysis on the efficiency of the VC”**

<i>Independent Variable</i>	<i>B</i>	<i>Beta</i>	<i>R</i>	<i>R2</i>	<i>T.value</i>	<i>Sig.T</i>
<i>Data Analytics (or Data Analysis)</i>	.791	.843	.843a	.710	30.124	.000
<i>Dependent Variable</i>	<i>The efficiency of the “VC”</i>					
<i>Constant Coefficient</i>	.822					
<i>Adj R2</i>	.709					
<i>F Value</i>	907.485					
<i>Sig F</i>	.000b					

The previous data in table (3-4-2-1) revealed that there is a statistically significant effect of data analysis on the efficiency of the “VC”, with the (R) value reaching (0.843a) at a significance level of (0.000b). Furthermore, the data analysis explains 71.0% of the

variance in problem identification according to the (R<sup>2</sup>) value, with the F value reaching (907.485). Based on the above, it was found that Data Analytics (or Data Analysis) affects VC by 84.3%, resulting in 71% of changes in the VC variable. The remaining 29% is attributed to other factors not addressed in this study.

Therefore, the null hypothesis, which states that there is no statistically significant effect at the significance level ( $\alpha=0.05$ ) of DT on the efficiency of the VC, is rejected, and the alternative hypothesis, which states that there is a statistically significant effect at the significance level ( $\alpha=0.05$ ) of DT on the efficiency of the VC, is accepted

**3.4. Second: Review, illustration, and analytical explanation of the results of sub-H (2), There is no statistically significant effect at the significance level ( $0.05 \geq \alpha$ ) of actuators on the efficiency of the “VC”.**

Simple linear regression analysis was adopted to verify this hypothesis validity, as illustrated in the table (3-4-3-1)

**Table (3-4-3-1) illustrate the effect of actuators on the efficiency of the „VC“**

<i>Independent Variable</i>	<i>B</i>	<i>Beta</i>	<i>R</i>	<i>R<sup>2</sup></i>	<i>T.value</i>	<i>Sig.T</i>
<i>Actuators</i>	.194	.282	.282a	.079	5.658	.000
<i>Dependent Variable</i>	<i>The efficiency of the VC</i>					
<i>Constant Coefficient</i>	3.197					
<i>Adj R<sup>2</sup></i>	.077					
<i>F value</i>	32.008					
<i>Sig F</i>	.000b					

The precedent data revealed a statistically significant effect of the actuators on the efficiency of the “VC”, with the (R) value reaching (0.282a) at a significance level of (0.000b). Furthermore, the actuators explain 7.9% of the variance in defining the problem according to the (R<sup>2</sup>) value, with the value of (F) reaching (32.008) .

Based on the above, it was found that actuators affect VC by 28.2%, resulting in 7.9% changes in the VC variable. The remaining 92.1% is attributed to other factors not addressed in this study.

Therefore, the null hypothesis, which states that there is no statistically significant effect of actuators on the efficiency of VC at the significance level ( $\alpha \leq 0.05$ ), is rejected. The alternative hypothesis, which states that there is a statistically significant effect of actuators on the efficiency of VC at the significance level ( $\alpha \leq 0.05$ ), is accepted.

**3.4.4. Third: Review, illustration, and analytical explanation of the results of sub-H (3), There is no statistically significant effect at the significance level ( $0.05 \geq \alpha$ ) of integration on the efficiency of the VC.**

Simple linear regression analysis was adopted to verify this hypothesis validity, as illustrated in the following table (3-4-4-1):

**Table No. (3-4-4-1) illustrates the effect of integration on the efficiency of the VC**

<i>Independent Variable</i>	<i>B</i>	<i>Beta</i>	<i>R</i>	<i>R<sup>2</sup></i>	<i>T.value</i>	<i>Sig.T</i>
<i>Integration</i>	.213	.273	.273a	.075	5.472	.000
<i>Dependent Variable</i>	<i>The efficiency of the “VC”</i>					
<i>Constant Coefficient</i>	3.034					
<i>Adj R<sup>2</sup></i>	.072					
<i>F Value</i>	29.938					

The precedent data revealed a statistically significant effect of integration on the efficiency of the “VC”, with the (R) value reaching 0.273a at a significance level of (0.000b). Integration also explains 7.5% of the variance in problem identification, according to the (R<sup>2</sup>) value, with the F value reaching 29.938. Based on the above, it was found that integration affects VC by 27.3%, resulting in 7.5% changes in the VC variable. The remaining 92.5% is attributed to other factors not addressed in this study. Therefore, the null hypothesis, which states that there is no statistically significant effect of integration on the efficiency of VC at the significance level ( $\alpha \leq 0.05$ ), is rejected. The alternative hypothesis, which states that there is a statistically significant effect of integration on the efficiency of VC at the significance level ( $\alpha \leq 0.05$ ), is accepted

**3.4.5. Fourth: Review, illustration, and analytical explanation of the results of sub-H (4), There is no statistically significant effect at the significance level ( $0.05 \geq \alpha$ ) of information on the efficiency of the “VC”.**

Simple linear regression analysis was adopted to verify this hypothesis validity, as illustrated in (3-4-5-1):

**Table No. (3-4-5-1) illustrates the effect of information on the efficiency of the “VC”**

<i>Independent Variable</i>	<i>B</i>	<i>Beta</i>	<i>R</i>	<i>R2</i>	<i>T.value</i>	<i>Sig.T</i>
<i>Information</i>	.247	.472	.472a	.223	10.309	.000
<i>Dependent Variable</i>	<i>The efficiency of the “VC”</i>					
<i>Constant Coefficient</i>	2.916					
<i>Adj R2</i>	.221					
<i>F Value</i>	106.281					
<i>Sig F</i>	.000b					

The precedent data in table (3-4-5-1) revealed a statistically significant effect of information on the efficiency of the “VC”, as the (R) value came to (0.472a) with a significance level of (0.000b), and integration explains 22.3% of the variance of defining the problem according to the (R<sup>2</sup>) value, and the value of (F) reached (106.281). Based on the above, it was found that information affects VC by 47.2%, resulting in 22.3% of changes in the VC variable. The remaining 77.7% is attributed to other factors not addressed in this study. Therefore, the null hypothesis, which states that there is no statistically significant effect of information on the efficiency of VC at the significance level ( $\alpha \leq 0.05$ ), is rejected. The alternative hypothesis, which states that there is a statistically significant effect of information on the efficiency of VC at the significance level ( $\alpha \leq 0.05$ ), is accepted.

Finally, the chapter also represents a holistic and detailed empirical assessment of the integrated Digital Twin-value-added chain model. It provides a rigorous testing of hypothesis and interpretative synthesis through extensive descriptive analysis to show how the Digital Twin technology can be systematically used to give value to the value-added chain in the UAE manufacturing industry. Incorporating the empirical evidence closely with theoretical constructs and practical considerations, the chapter lays a solid ground of the conclusions, contributions, and future research directions, which were put forward in the last chapter of the dissertation

**3.15 The main findings from Chapter 3**

Chapter Three demonstrates that the four dimensions of Digital Twin—data analysis, actuators, integration, and information—play a central and interconnected role in

enhancing the efficiency of the value chain within the manufacturing sector of the UAE. The discussion of the first research question shows that data analysis constitutes a foundational driver of Digital Twin functionality, transforming raw operational signals into meaningful insights that support operational decisions, identify inefficiencies, enhance forecasting, and enable continuous monitoring across the value chain.

The findings related to the second research question indicate that actuators represent the practical, physical extension of the Digital Twin, translating virtual insights into real-world operational actions, improving product quality, reducing human errors, ensuring workflow consistency, and facilitating automated responses within the production cycle. With regard to the third research question, the findings reveal that integration enables the alignment of real-time operational data with enterprise information, supporting predictive maintenance, optimizing process control, enhancing collaboration, and allowing Digital Twin technology to operate as a unified ecosystem. The results of the fourth research question highlight that information—through digital, sensor-based, and enterprise-level intelligence—enables better control, improved forecasting, stronger decision-making, sustainability efforts, and enhanced product quality by merging sensor data with organizational databases.

Overall, the findings confirm that the four dimensions operate as an interdependent system: data analysis provides insight, actuators enable action, integration ensures coherence, and information supports intelligence, creating a digitally empowered manufacturing environment capable of improved performance, higher adaptability, and greater value creation.

#### **CHAPTER 4. SYNTHESIS OF FINDINGS, CONCLUSIONS, AND STRATEGIC RECOMMENDATIONS**

The fourth chapter acts as a synthesis of the whole dissertation, as it summarises the most important findings of the previous chapters, concluding that the theoretical foundation (Chapter One), the methodological basis and integrated model (Chapter Two), and empirical validation (Chapter Three) combine to show that systematic Digital Twin implementation can considerably improve the efficiency of the value-added chain in UAE manufacture. It includes strategic recommendations such as national awareness campaigns, workforce training, pilot-led implementation, interoperable platform development, and alignment with both UAE Vision 2031 and Industry 4.0/5.0 policies. The chapter provides the expected advantages of the proposed framework in the Industry 5.0 environment, including improved supply-chain resilience, stakeholder cooperation, faster innovation, better customer experiences, and sustainable resource-efficient operations, and offers avenues of further research such as longitudinal ROI research, further technology implementation (generative AI, blockchain), standardised maturity research, ethical/regulatory research, and SME vs. large-enterprise research. Lastly, the chapter reconfirms the effectiveness of all the pre-constructed research tasks, gives a general insight into the operational and scholarly benefits (15–20% efficiency gains in pilots, practical implementation guide, and theoretical contribution to holistic DT-value-chain models), and concludes with the key contributions, making the dissertation a bridge between theory and practise in sustainable digital transformation in manufacturing.

In Chapter 4 are discussed the final synthesis and recapitulation of the whole dissertation, showing that the suggested integrated Digital Twin (DT)-value-added chain model has had significant and empirically tested benefits to operational efficiency, resilience, and sustainability throughout the entire value-added chain in the UAE manufacturing industry. The chapter summarises the evidence of all the previous chapters in order to show that the four interdependent DT enablers, including data analysis, actuators, system integration, and enterprise information fusion provide

synergistic effects that are greater than those of any isolated dimension when implemented step-by-step using pilots. The findings and practical vision obtained throughout the empirical research yield strategic recommendations based on the priorities of creating awareness on the national level, upskilling the workforce, pilot projects that would demonstrate quick ROI, the development of interoperable DT platforms, government incentives, and alignment with the UAE Vision 2031 and Operation 300bn to increase the adoption speed and reduce the risks and ensure that the stakeholders are confident. It has been illustrated in the Industry 5.0 framework that it allows improved agility in supply chains, cross-stakeholder interaction, faster innovation by using virtual testing, improved customer experiences, and low-carbon operations that require minimal resources to support long-term national economic diversification and sustainability objectives. The chapter also outlines its future research directions such as longitudinal ROI and sustainability impact investigations, integration with emerging technologies (generative AI, blockchain, quantum sensing), standardised maturity models, ethical/regulatory investigations and comparisons between SMEs and large-enterprise studies have been clearly defined, but all the previously defined research tasks were achieved, as this establishes the twofold contribution of the dissertation to operational value that can be obtained by the UAE manufacturing practitioners today and long-term scholarly development of holistic DT-value-chain theory and application.

In paragraph 4.2 based on the various findings and conclusions reached by the current study, the following recommendations related to studying and evaluating the application of the concept of DT to increase the efficiency of the “VC” can be presented. These recommendations are ranked according to their importance based on the results of the field study and statistical analysis, as follows:

- Emphasize the importance of deepening the understanding of DT technology to encourage its application across various industries and support their growth.
- Organize numerous seminars in the UAE and other Arab countries to introduce the advantages of DT technology and how to utilize it in the manufacturing sector.
- Keep up with all advancements in developed countries regarding digital transformation technology and how to enhance this technology in the manufacturing industry.
- Engage experts and professionals to benefit from their expertise in AI, particularly concerning DT.
- Conduct various training programs for workers in the manufacturing sector to train them on how to leverage modern technologies to increase the efficiency of the “VC.”
- Work on integrating data from various stakeholders, such as suppliers, logistics providers, and retailers. This integration enables smarter decision-making, more effective inventory management, reduced lead times, and increased customer satisfaction.
- Enhance DT technology to maximize the maintenance, reliability, and efficiency of physical assets, systems, and manufacturing processes.

In paragraph 4.3 Expected benefits of the proposed framework in the context of Industry 5.0 are presented. Based on the above and the results reached by the researcher, the researcher believes that after companies implement the proposed framework, the following results will be achieved:

- Enhancement of supply chain: The formulated methodology can be used by companies to enhance the efficiency of the supply chain since it offers a formulated framework for developing and establishing the so-called DT that mimic processes and systems within the supply chain.
- Building resilience, as DT may contribute to making companies more resilient by allowing them to simulate a variety of scenarios and make the right decisions on how to react to disruptions or demand changes.
- Enhancing cooperation, DT can be used to enhance cooperation between various stakeholders.
- Developing new products and services, where DT can help companies develop new products and services by enabling them to simulate the performance of new products or services under different conditions.
- Improving customer experience, where DT can help companies improve customer experience by providing insights into how customers use products or services, enabling companies to make targeted improvements.

In paragraph 4.4 a framework and set of tools that contribute to filling the identified gaps in the research field, while simultaneously opening opportunities for future scholarly research and further development through the inclusion of additional aspects of the addressed problem are presented:

- Integrating DT with other technologies, by exploring how to integrate DT with other technologies, such as AI and the IoT, to further improve the efficiency of the “VC”.
- We will use DT to improve sustainability by investigating how DT can be used to improve sustainability in the “supply chain”, such as by reducing waste and improving energy efficiency.
- Developing DT platforms by investigating the development of DT platforms that facilitate the creation, management, and interoperability of DT.
- Studying the development of DT standards to ensure compatibility and interoperability between different DT.
- Analyse the ethics of DT by exploring the ethical issues associated with the use of DT, such as privacy, security, and accountability.
- Conduct future studies on the challenges of implementing DT technologies and ways to overcome them in the UAE manufacturing industry.
- Investigate the requirements to enhance the efficiency of the “VC” in the manufacturing industries in the UAE.

**In paragraph 4.5 are summarized the solved task in the dissertation.**

<b>Solved tasks</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. DT is proven to enhance operational efficiency by improving processes, reducing failure rates, and accelerating time-to-market.</li> <li>2. DT is already used in advanced industries such as construction, automotive, and healthcare, with demonstrated benefits for innovation and process optimization.</li> <li>3. Existing modelling and simulation tools facilitate system analysis and optimization, contributing to better decision-making.</li> <li>4. Value analysis is recognized for improving organizational processes, supporting efficiency and systematic evaluation (implied across efficiency-related literature).</li> </ol>

**Figure 4.1: Overview of the solved tasks and their relationship to the research workflow.**

The completed tasks that were part of the practical application of the study objectives are shown in this section. These tasks are intended to show how the suggested methodology was used in practice and to confirm its viability and efficacy. From problem identification and data preparation to model execution and result validation, each task represents a particular stage in the research process. The completed tasks offer verifiable proof that the study's theoretical framework was effectively converted into operational protocols. Additionally, they show how the chosen instruments, strategies, and analytical techniques were applied to systematically address the research problem.

Additionally, the results of these tasks act as intermediate checkpoints to guarantee consistency between the final results and the research design. The study improves transparency and reproducibility by recording the completed tasks, making it possible for other researchers to follow the same steps. All things considered, this section attests to the fact that the research goals were both practically and theoretically accomplished through carefully planned and verified tasks.

## **SCIENTIFIC-APPLIED AND APPLIED CONTRIBUTIONS**

1. A comprehensive conceptual framework (including the Integrated Model) was created that defines the way that Digital Twin (DT) technology is implemented in the whole value chain including procurement, production, transportation, and delivery.
2. The current Digital Twin and value chain theories were expanded through incorporating the capabilities of DT with value chain efficiency, operational coordination, and data-driven decision-making into a single theoretical framework.
3. The applicability and efficacy of the suggested Digital Twin framework (including the Integrated Model) were empirically provided through the mixed-method approach, and the hypothesis of the study was approved through quantitative and qualitative methods. Further the dissertation strengthens empirical validation through a mixed-method perspective, where quantitative statistical testing is complemented by qualitative interpretation of findings, enabling deeper contextual understanding of Digital Twin implementation in UAE manufacturing organizations.
4. The essential technological and organizational enablers of successful implementation of the Digital Twin to increase the efficiency of value-added chain, such as data analytics, sensors, actuators, system integration and real-time information exchange were determined and evaluated as well.
5. The good operation contribution of Digital Twin technology to value chain performance such as the increased efficiency of the processes, improved usage of resources, better coordination and decreased operational disruption was provided..

## LIST OF PUBLICATIONS RELATED TO THE DISSERTATION

**Zeyad Al Shammary**, Ahmed Al Nakeeb, Haitham M. Alzoubi and Mounir El Khatib, (2025). "Integrating Digital Twins and Change Management for Industrial AI Deployment Strategies". Proceedings of the 23rd International Scientific Conference "Management and Engineering", Sofia, Bulgaria, Indexed in SCOPUS.

Athba Mohammed, Fatima Alhammadi, Samiha Aljasmi, **Zeyad Al Shammary** and Mounir El Khatib (2025). "The Influence of AI Based Simulation (Digital Twins) on Risk Mitigation in Construction Projects". Proceedings of the 23rd International Scientific Conference "Management and Engineering", Sofia, Bulgaria, Indexed in SCOPUS.

Shaima Al Harmoodi, **Zeyad Al Shammary**, Samah Al Nuaimi, Haitham M. Alzoubi and Mounir El Khatib, (2025). "Fostering Innovation in Large-Scale Projects through Digital Twin-Enabled Predictive Decision Support System". Proceedings of the 23rd International Scientific Conference "Management and Engineering", Sofia, Bulgaria, Indexed in SCOPUS.

## SUMMARY

### “RESEARCH AND EVALUATION OF THE APPLICATION OF THE DIGITAL TWINS CONCEPT TO INCREASE THE EFFICIENCY OF VALUE-ADDED CHAIN”

PhD Student: Zeyad Mohammed Abdul Ameer

**The research subject of the study is** Value chain of the industrial enterprises

**The research question is:** How does the application of the DT concept impact the efficiency of the “VC”?

Organizations adopt tech like 'digital twins' for competitiveness and sustainability. This study explores how digital twins improve the value chain for growth, asking, “How do digital twins impact efficiency?” via surveys and case studies in UAE manufacturing. It used random sampling of experienced participants, focusing on digital twins and value chain efficiency for practical insights. A descriptive design analyzed current practices, attitudes, and applications. Recommendations include increasing awareness, training, and expert involvement to promote digital twins, especially in the UAE and Arab regions. It stressed integrating new technologies and stakeholder data with global best practices to improve efficiency and making digital twin applications more asset-reliable, sustainable, and competitive. Digital twins can improve supply chains with real-time data, monitoring, and optimization, resulting in better performance, resource savings, waste reduction, and decision-making. In the UAE, their implementation enhances manufacturing efficiency through data analysis, actuators, and IT integration connectivity. These highlight digital twins’ importance for effectiveness, accuracy, and competitiveness. The study concludes digital twins enhance efficiency, predictive models, and sustainability, giving companies a competitive edge. However, it warns organizations to consider costs and cybersecurity risks to maximize benefits.

The **goal of the dissertation** research is to analyze and evaluate the impact of applying value analysis and the Digital Twin (DT) concept on the efficiency of the “VC” of the enterprises. In achieving this goal, the following main tasks are accomplished:

1. Analysis of existing theoretical and applied approaches to the implementation and integration of the DT concept in the processes of the “VC”.
2. Develop an integrated model for the evaluation and implementation of DT in the “VC” with the aim of improving process efficiency, including methods for monitoring and management.
3. Development of a framework for examining the applicability of the model and validating its key variables.
4. Testing the methodological tools