ДОДАТОК А

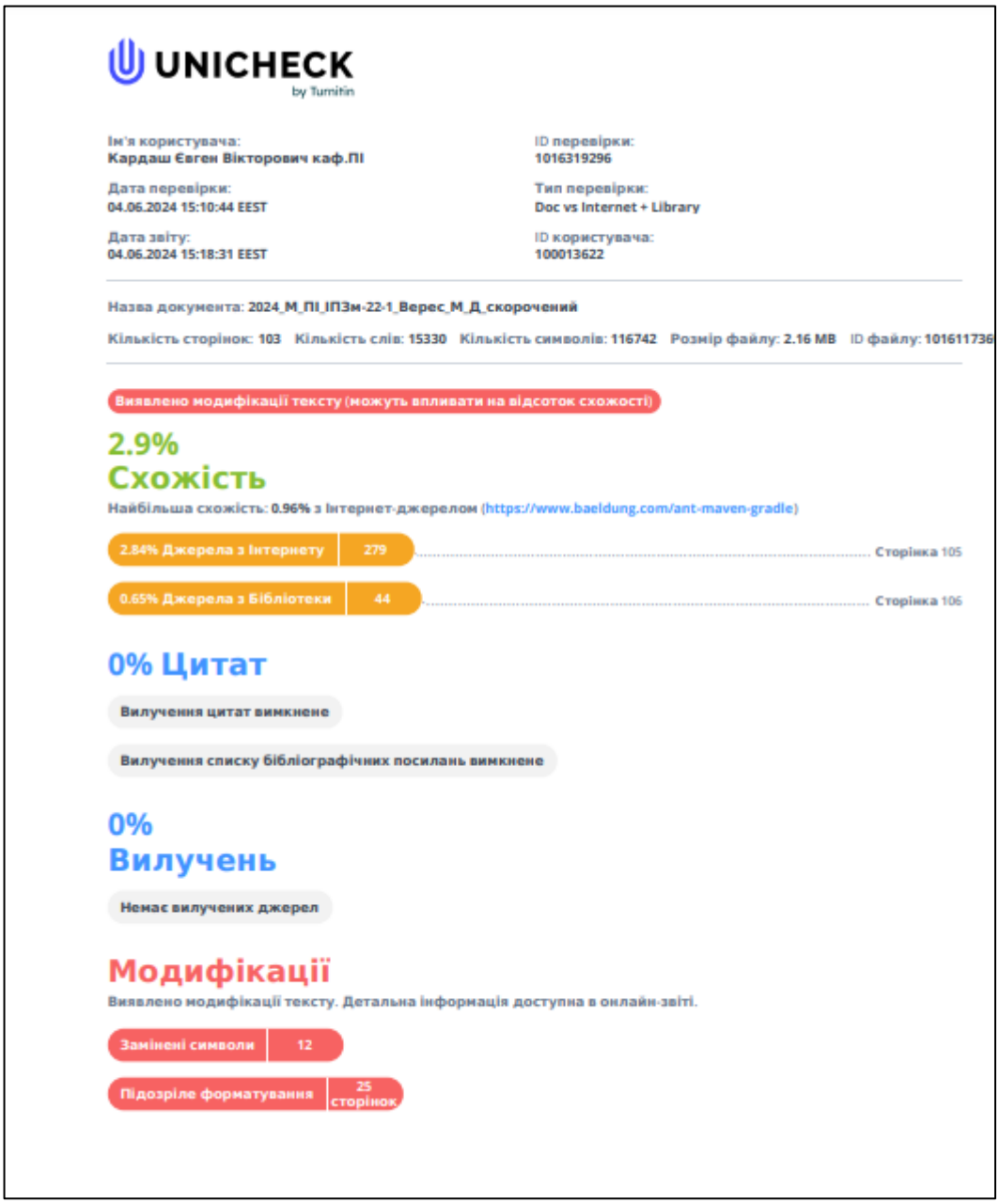
Перелік джерел посилання за науковими напрямами керівника та науковців кафедри програмної інженерії

28. Behavior Driven Development Approach in the Modern Quality Control Process / O. Bezsmertnyi, Golian N. та ін. 2020 IEEE International Conference on Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T), м. Kharkiv, Ukraine, 6–9 жовт. 2020 р. 2020. URL: https://doi.org/10.1109/picst51311.2020.9467891 (дата звернення: 15.05.2024).

32. Leiba Y., Shirokopetleva M., Gruzdo I. RESEARCH ON METHODS OF DETERMINING CUSTOMER LOYALTY AND ASSESSING THEIR LEVEL OF SATISFACTION. Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries. 2023. № 2 (24). С. 104–117. URL: https://doi.org/10.30837/itssi.2023.24.104 (дата звернення: 15.05.2024).

ДОДАТОК Б

Звіт результатів перевірки на унікальність тексту в базі ХНУРЕ



UNICHECK
by Turnitin

Ім'я користувача:
Кардаш Євген Вікторович каф.ПІ

ID перевірки:
1016319296

Дата перевірки:
04.06.2024 15:10:44 EEST

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:
04.06.2024 15:18:31 EEST

ID користувача:
100013622

Назва документа: 2024_М_ПІ_ІПЗм-22-1_Верес_М_Д_скорочений

Кількість сторінок: 103 Кількість слів: 15330 Кількість символів: 116742 Розмір файлу: 2.16 MB ID файлу: 101611736

Виявлено модифікації тексту (можуть впливати на відсоток схожості)

2.9%
Схожість

Найбільша схожість: 0.96% з Інтернет-джерелом (https://www.baeldung.com/ant-maven-gradle)

2.84% Джерела з Інтернету 279 ..... Сторінка 105

0.65% Джерела з Бібліотеки 44 ..... Сторінка 106

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

0%
Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи 12

Підозріле форматування 25 сторінок

ДОДАТОК В

Експертний висновок результатів перевірки кваліфікаційної роботи на відповідність оформлення вимогам ДСТУ 3008: 2015

Експертний висновок результатів перевірки кваліфікаційної роботи

студент (посада) | програмної інженерії (кафедра) | ІПЗм-22-1 (група)

Верес М.Д.
(прізвище, ім'я, по батькові)

Зауваження

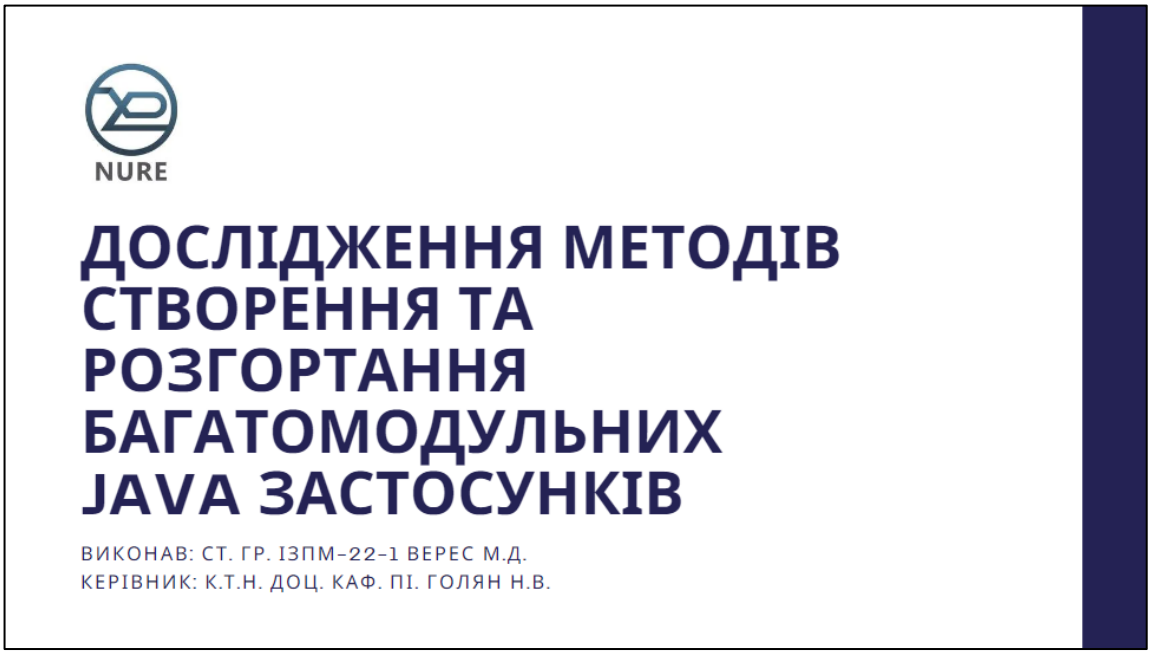
Пункт ДСТУ 3008-2015	Зміст пункту	Сторінка кваліфікаційної роботи
1	2	3
	7.1 Загальні положення	
	7.3 Нумерація сторінок звіту	
	7.4 Нумерація розділів, підрозділів, пунктів, підпунктів	
	7.5 Рисунки	
	7.6 Таблиці	
	7.7 Переліки	
7.7.2	Якщо подають переліки одного рівня підпорядкованості, на які у звіті немає посилань, то перед кожним із переліків ставлять знак «тире». Якщо у звіті є посилання на переліки, підпорядкованість позначають малими літерами української абетки, далі — арабськими цифрами, далі — через знаки «тире». Після цифри або літери певної позиції переліку ставлять круглу дужку.	63, далі за текстом.
	7.8 Примітки	
	7.10 Формули та рівняння	
	7.11 Посилання	
	7.13 Список авторів	
	7.14 Скорочення та умовні познаки	
	7.15 Додатки	
Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра… **ЗАТВЕРДЖЕНО** кафедрою ПІ протокол № 5 від 13.11.2023р. 3.2 Оформлення пояснювальної записки згідно з ДСТУ 3008:2015 Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання. **Шаблон** затверджений засіданням кафедри №3 від 16.10.2023.	Назву таблиці друкують з великої літери і розміщують над таблицею з абзацного відступу та **в круглих дужках вказується джерело з якого взята ця таблиця, або то, що вона виконана самостійно. ПРИКЛАД: шаблон, стор.15**	85
	У рефераті не вказано кількість сторінок у пояснювальній записці до кваліфікаційної роботи.	4

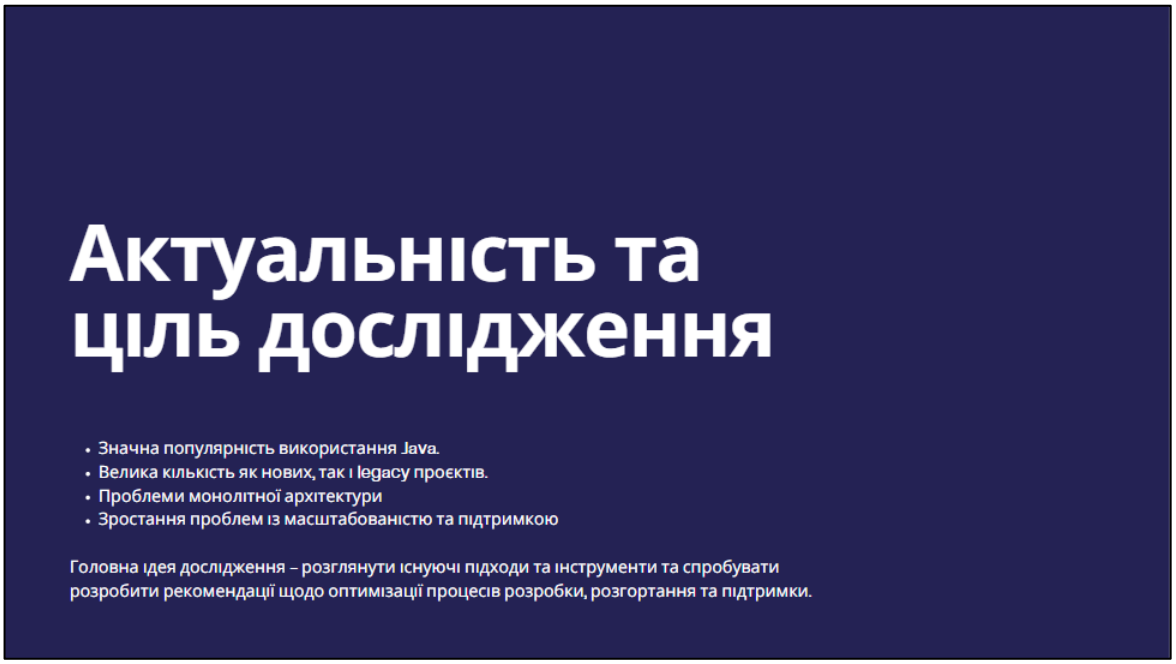
Експерт _____ (підпис) Вадим НЕЧВОЛОД (прізвище, ініціали)

12.06.2024

ДОДАТОК Г

Слайди презентації





03

Планування

Для початку, було відокремленно окремі абстрактні етапи "життєвого циклу" Java-проєктів та розглянуто їх окремо.

- Створення кодової бази
- Збірка артефакту
- Розгортання артефакту

04

Створення кодової бази

Етап створення кодової бази містить роботу із архітектурою проєкту та безпосередньо його кодом. Є дуже специфічним до вимог та цілей кожного проєкту. Було розглянуто ряд кращих практик, що використовуються в світі розробки та пропонуються в актуальній світовій літературі.

- Впровадження методік оптимізації процесу компіляції коду в Java.
- Наведено кращі практики із автоматизованого тестування коду в Java.
- Використання інструментів контролю якості Java-коду.
- Наведено опис багатомодульної архітектури та особливості її застосування в проєктах.

05

Багатомодульна архітектура

Варто відокремлети дослідження багатомодульної архітектури. Отже не всі монолітні Java-проєкти використовують багатомодульну архітектуру, але майже всі багатомодульні Java-проєкти – моноліти.

Головні відмінності багатомодульної архітектури:

- Кожен модуль є відокремленим автономним "шматочком" коду та має свою ціль.
- Модулі можуть мати залежність один від одного.
- Група модулів, взаємодіючих один з одним представляє собою програмний застосунок.
- В Java 9 (вересень 2017) з'явилася власна імплементація багатомодульності.

06

Java 9 Module System

Незважаючи на те що, JPMS (Java Platform Module System) є "офіційною" реалізацією багатомодульності. В ході дослідження було помічено, що використання даної технології майже не має місця в реальних проектах через ряд доволі відчутних недоліків.

Недоліки JPMS

- Не дуже зручна реалізація керування залежностями.
- Низкий рівень популярності серед розробників та відсутність досвіду.
- Майже відсутня підтримка найбільш популярними фреймворками (наприклад, Spring).
- Відсутня підтримка найбільш популярними системами збірки (Maven, Gradle).

Таким чином, ми можемо перейти до наступного етапу.

07

Збірка артефакту

Одним із ключових пунктів роботи є пошук засобів оптимізації процесу збірки.
Простими словами, збірка проєкту – процес створення кінцевого програмного продукту з кодової бази проєкта.

- Розглянуто найбільш популярні інструменти збірки в Java (Ant, Maven, Gradle).
- Проведено аналіз інструментів щодо ефективності використання у багатомодульних Java-проєктах.
- Розглянуто практичні приклади та поради щодо оптимізації використання інстурментів збірки.

08

Аналіз інструментів збірки

Для аналізу, відібрано три найбільш популярні інструменти збірки. Мета аналізу на даному етапі – обрати ту систему збірки, що буде найбільш ефективною відповідно до використання у багатомодульних проєктах Java за відібраними характеристиками.

А саме:

- Apache Ant
- Apache Maven
- Gradle

	Система збірки		
Характеристика	Apache Ant	Apache Maven	Gradle
DM	відсутнє	наявне	розширене
CS	складно	доступно	доступно
PS	відсутня	наявна	наявна
IS	відсутня	наявна	наявна
FLX	високий	обмежений	високий
PES	відсутня	наявна	наявна
VS	наявна	наявна	наявна
EP	базова	розширена	розширена
DCS	відсутня	наявна	наявна

- керування залежностями – **DM** (dependency management);
- легкість сприйняття структури та конфігурації – **CS** (structure clarity);
- підтримка паралельної збірки – **PS** (parallelism support);
- підтримка інкрементної збірки – **IS** (incremental support);
- ступінь гнучкості та можливості розширення – **FLX** (flexibility);
- підтримка створення плагінів – **PES** (plugins ecosystem support);
- підтримка керування властивостями та змінними – **VS** (variables support);
- якість обробки помилок – **EP** (errors processing);
- підтримка кешування залежностей – **DCS** (dependency caching support).

09

	Система збірки		
Характеристика	Apache Ant	Apache Maven	Gradle
DM	0	0,5	1
CS	0	1	1
PS	0	1	1
IS	0	1	1
FLX	1	0	1
PES	0	1	1
~~VS~~	–	–	–
EP	0	1	1
DCS	0	1	1

Характеристики було переведено у кількісні та нормовано за мінімакс нормуванням.

$$X' = \frac{X - min}{max - min}$$

де X – значення, що необхідно нормувати,

min – мінімальне значення за шкалою,

max – максимальне значення за шкалою.

VS була видалена з порівняння через однакові значення для всіх систем збірок. Вже з таблиці можна побачити кращу.

10

	Система збірки			
Х-ка	Apache Ant	Apache Maven	Gradle	Коефіцієнт
DM	0	0,5	1	0,16
CS	0	1	1	0,08
PS	0	1	1	0,16
IS	0	1	1	0,16
FLX	1	0	1	0,08
PES	0	1	1	0,16
EP	0	1	1	0,04
DCS	0	1	1	0,16

Для отримання кінцевого значення було використано лінійну адитивну згортку

$$Z' = \max_{i=1,m} \sum_{j=1}^{n} \alpha_j \beta_j x_{ij}$$

11

12

Кінцевий результат аналізу етапу збірки

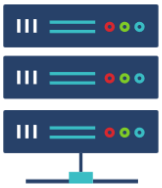
- Gradle – 1,0
- Apache Maven – 0,84
- Apache Ant – 0,08

Отже, з розрахованих даних, ми можемо отримати наступні результати:

1. Gradle є найбільш ефективною для використання в багатомодульних проєктах Java.
2. Maven займає друге місце, проте також є доволі ефективною системою та може продовжувати використовуватись у вже існуючих проєктах.
3. Apache Ant займає останнє місце за ефективністю та зовсім не рекомендуєтья до використання в розглянутих вище проєктах.

13

Розгортання артефакту



Наступний етап аналізу – розглядання етапу розгортання артефакту. Простими словами це етап, коли ми маємо вже зібраний готовий до використання програмний продукт, що необхідно помістити у певне середовище (наприклад, на сервер), де він буде запущений та виконувати свої функції.

- Розглянуто процес CI/CD (постійної інтеграції та постійної доставки).
- Розглянуто практику контейнеризації проєктів (на прикладі Docker).
- Наведено приклади та поради використання інструментів CI/CD (на прикладі Jenkins).
- Проведено відбір найбільш оптимальної хмарної платформи для розгортання багатомодульного застосунку.

14

Аналіз хмарних платформ

Для проведення аналізу хмарних платформ, було створено вимоги теоретичного багатомодульного проєкта на Java з обмеженим бюджетом та властивостями. Відібрано наступні найбільш популярні в поточний час хмарні платформи.

А саме:

- Amazon Web Services (AWS).
- Microsoft Azure.
- IBM Cloud.
- Google Cloud.
- Oracle Cloud.

Назва сервісу	VM$	RAM	VCPU	LOGS	ST$
AWS	6,13	2	2	5	0,12
Microsoft Azure	57,67	3,5	2	0	0,018
IBM Cloud	73,36	4	2	0	0,039
Google Cloud	12,23	2	2	50	0,1
Oracle Cloud	4,25	24	4	10	0,05

- **VM$** – вартість використання серверу (дол. США) (не включаючи вартість використання сторонніх сервісів, таких як сховища даних, системи безпеки та ін.).
- **RAM** – доступна оперативна пам'ять відповідно до моделі віртуальної машини.
- **VCPU** – доступна кількість віртуальних ядер відповідно до моделі віртуальної машини.
- **LOGS** – кількість безкоштовних гігабайт для зберігання логів при моніторингу метрик застосунку.
- **ST$** – вартість використання сервісу (дол. США) зберігання файлів (не включаючи тарифікацію за зберігання або зчитування даних) за 5 гігабайт зберігання на рівні Cold storage на місяць.

15

Назва сервісу	VMS	ARAM	AVCPU	LOGS	STS
AWS	67,23	0	0	5	0
Microsoft Azure	15,69	1,5	0	0	0,102
IBM Cloud	0	2	0	0	0,081
Google Cloud	61,13	0	0	50	0,02
Oracle Cloud	69,11	22	2	10	0,07

Значення було приведено до векторного опису.
Деякі характеристики було змінено:

- **VM$ – VMS** (Virtual Machine Savings). Відображає економію при оренді віртуальної машини відповідно до вимог.
- **RAM – ARAM** (Additional RAM). Відображає додаткову кількість оперативної пам'яті після 2–х необхідних гігабайт.
- **VCPU – AVCPU** (Additional Virtual CPU). Відображає додаткову кількість віртуальних ядер процесора окрім 2–х необхідних.
- **ST$ – STS** (Storage Savings). Відображає економію при оренді 5 гігабайт сховища рівня Cold Storage.

16

Назва сервісу	VMS	ARAM	AVCPU	LOGS	STS
AWS	0,9728	0	0	0,1	0
Microsoft Azure	0,2270	0,0682	0	0	1
IBM Cloud	0	0,0909	0	0	0,7941
Google Cloud	0,8845	0	0	1	0,1961
Oracle Cloud	1	1	1	0,2	0,6863

Характеристики було нормовано за принципом мінімаксу. Так само, як і при аналізі систем збірок.

$$X' = \frac{X - min}{max - min}$$

де X – значення, що необхідно нормувати,

min – мінімальне значення за шкалою,

max – максимальне значення за шкалою.

17

Назва сервісу	VMS	ARAM	AVCPU	LOGS	STS
AWS	0,9728	0	0	0,1	0
Microsoft Azure	0,2270	0,0682	0	0	1
IBM Cloud	0	0,0909	0	0	0,7941
Google Cloud	0,8845	0	0	1	0,1961
Oracle Cloud	1	1	1	0,2	0,6863
Коефіцієнт	0,25	0,25	0,25	0,0833	0,1667

Характеристикам надано вагові коефіцієнти, які, в свою чергу, були нормовані.

Для пошуку оптимального рішення було використано лінійну адитивну згортку.

$$Z' = \max_{i=1,m} \sum_{j=1}^{n} \alpha_j \beta_j x_{ij}$$

18

19

Кінцевий результат аналізу хмарних платформ

ORACLE DATA CLOUD

- Oracle Cloud – 0,8811.
- Google Cloud – 0,3371.
- AWS – 0,2515.
- Microsoft Azure – 0,2405.
- IBM Cloud – 0,1551
- Apache Ant – 0,08

Таким чином на момент дослідження маємо найбільш оптимальне хмарне середовище на момент аналізу відповідно до задачи – Oracle Cloud. Однак, відповідно до вимог кожного проєкту, результати можуть відрізнятись.

20

Система рекомендацій

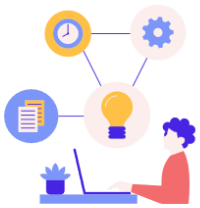
Як результат, з аналізу етапів "життєвого циклу" багатомодульного проєкту Java, було створено план системи рекомендацій, дотримання яких призведе до впровадження кращих практик як у нові, так і існуючі проєкти.

План містить наступні кроки:

- Архітектурний аналіз
- Технічний аналіз та планування
- Оптимізована імплементація
- Оптимізована доставка та інтеграція

21

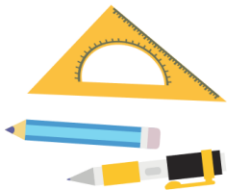
Застосування рекомендацій на реальному прикладі



- Проєкт – бекенд–частина системи опитувань ХНУРЕ “NURE Survey”.
- Монолітна структура, одномодульна архітектура.
- Містить функціонал REST API та Vaadin UI конструктор опитувань.
- Система збірки – Maven.
- Ціль – оптимізувати процеси проєкту, використовуючи план системи рекомендацій.

22

Архітектурний аналіз. Рішення



- Головна проблема проєкту – масштабованість.
- Відсутність можливості розгортання функціоналу UI та API окремо один від одного.
- Обмежена гнучкість конфігурації проєкту.
- Залишити систему збірки Maven. Перехід на Gradle потребує більше ресурсів ніж очікуваний бонус ефективності.
- Перехід до багатомодульної архітектури.

23

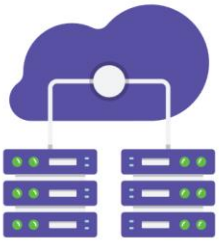
Технічний аналіз та планування*. Рішення

- Проєкт містить застарілі версії залежностей, які призводять до вразливостей.
- Не налаштовано інкрементну збірку.
- Відсутнє налаштування інструментів перевірки якості коду.
- Docker потребує переналаштування після переходу на багатомодульну архітектуру.

- Оновлено версії залежностей до більш актуальних.
- Закрито вразливості проєкту.
- Налаштовано середовище розробки із використанням плагінів для перевірки якості коду із плагіном SonarLint.
- Налаштовано інкрементну та паралельну локальну збірку проєкту.
- Переналаштовано Docker файли.

24

Оптимізована доставка та інтеграція. Рішення



- Проєкт не має жодних засобів автоматизації процесу збірки.
- Проєкт не має жодних засобів автоматизації розгортання.

- Використано Jenkins.
- Створено задачу, що автоматично перевіряю можливість збірки проєкту після змін в Git-репозиторії.
- Створено задачу, що збирає релізну версію артефакту програмного застосунку.
- Створено задачу, що імітує розгортання релізної версії артефакту програмного застосунку.

25

Результат роботи

Кінцевий результат роботи – створення системи рекомендацій для оптимізації процесів створення та розгортання багатомодульних проєктів на Java. Було проведено аналіз етапів життєвого циклу створення та розгортання подібних проєктів, розглянуто можливі оптимізації та інструменти для використання на кожному із етапів.
Система була застосована для оптимізації процесів на існуючому проєкті NURE Survey.
Результатом застосування експериментальної системи стало налагодження процесів **CI/CD,** покращення та автоматизація процесів перевірки якості коду та прискорення процесу збірки проєкту приблизно на 40% і саме головне – вирішення глобальних архітектурних проблем, які призводили то потенційних перешкод із масштабованістю програмного проєкту.

Дослідження може буте розгорнуто далі у напрямі створення або плагінів до існуючих інструментів, або створення окремих інструментів для кращої інтеграції між розглянутими етапами багатомодульних проєктів на Java та автоматизації контролю над структурою та якістю програмних проєктів.

Дуже дякую за увагу!

ДОДАТОК Ґ

Апробація результатів роботи

ISSN 2079-0023 (print), ISSN 2410-2857 (online)

DOI:
UDC 004.41

M. D. VERES, Student, Kharkiv National University of Radio Electronics, Nauky Ave. 14, Kharkiv, Ukraine, 61166; e-mail: maksym.veres@nure.ua; ORCID: https://orcid.org/0009-0009-1768-8693

N. V. GOLIAN, Associate Professor of the Department of Software Engineering, Kharkiv National University of Radio Electronics, Nauky Ave. 14, Kharkiv, Ukraine, 61166; e-mail: nataliia.golian@nure.ua; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1390-3116

OPTIMIZATION OF THE DEVELOPMENT PROCESS OF MONOLITHIC MULTI-MODULE PROJECTS IN JAVA

In recent years, there has been an increase in the complexity of Java software development and a change in the scope of projects, including an increase in the number of modules in projects. The multi-modularity of projects, although it improves manageability to a certain extent, but often creates a number of problems that can complicate development and, a problem that will appear in the future, require more resources to support. This article will analyze the main problems of monolithic multi-module Java projects and will try to consider a number of possible solutions to overcome the above problems. The article discusses the peculiarities of working with multi-module monolithic projects using Java as the main programming language. The purpose of this article is to identify features and obstacles using the above architectural approach of the software, analysis of the main possible issues of working with the monolithic multi-module Java projects, as well as providing recommendations for eliminating these obstacles or describing the features of the process that could help engineers in supporting this kind of projects. In other word the main goal of this work is to create recommendations, provide modern best practices for working with monolithic multi-modular software architecture and the most popular modern technological solutions used in corporate development. The proposed recommendations allow the team, primarily developers and the engineering side, to avoid possible obstacles that lead to the loss of efficiency of the monolithic software development process. The most important advantage, from the recommendations given in the article, is the optimization of resource costs (time, money and labor) for the development process. As a result of the article, a general list of recommendations was obtained, which allows the developer to better analyze what changes in the project should (if necessary) be made to optimize the development, assembly and deployment processes of a monolithic Java project, as well as advice before designing new software to avoid the main obstacles of monolithic architecture in the future.

Keywords: monolithic architecture, multi-module architecture, Java, project build, module, development, project deployment.

Introduction. To begin with, here is a short description of monolithic architecture and its features. To do this, let's turn to the article «Microservices vs. monolithic architecture» by Atlassian marketing strategist Chandler Harris [1].

A monolithic application is a single common project, while a microservice architecture, in turn, is a combination of small, independently deployed services. Monolithic architecture has already become a traditional software model; it represents a single project that works autonomously and independently of other applications. In turn, the code base in such an architecture combines all business tasks.

Let us highlight the main advantages and disadvantages of monolithic architecture. The advantage is the ease of deploying applications with a monolithic architecture. Fewer independent modules reduce configuration and deployment costs. Using a single code base in some situations leads to simplified development, however, making fundamental changes to its structure can, on the contrary, significantly increase costs.

In some situations, the performance of monolithic applications can be higher than that of applications with a microservice architecture. For example, in a centralized codebase it is sometimes possible to use a single API, which often immediately sends a request to the data storage system, when, in turn, a microservice architecture requires calling various APIs, as well as transferring data through application communication interfaces (for example, REST).

In cases where at the initial stages, as the monolithic application grows, its main disadvantages begin to appear. One of the main ones is a significant increase in resource costs for development (both material and time). Especially, this flaw will manifest itself during major changes in a single code base, which may affect all functionality. Not only does the developer need to take this into account, but also a competent team lead must realize that it is necessary to almost completely test the functionality of the project, which could be affected by these changes. This is a rather unpleasant factor, especially during the period when, for example, the release date is approaching, and changes to the code base are requested and occur after the main business functionality has been tested. Thus, there is a need to retest the application, where there is a risk that it will not be fully completed by the release date.

As a possible example, a situation where the business side urgently requires new functionality, in addition to what was planned in advance, and from the technical management side, closer to the end of the development period, a request comes for a mandatory update of the project build system plugins to close a technical vulnerability. After updating the plugins, part of the project's functionality stops working with an error. The development team needs to try to fix the problem with urgency, and the testing team has even more urgency to verify that the problem is fixed.

The next disadvantage of such an architecture - unreliability. An instability or bug in one module has the risk of affecting the availability of the entire application.

Scalability is the third key problem. Individual components cannot be scaled, since they are part of a single code base and are not presented, at least, as a

ISSN 2079-0023 (print), ISSN 2410-2857 (online)

separate stand-alone module [2].

About multimodularity. Let us briefly recall what multimodularity is, why this approach is used, and what advantages and disadvantages it has. To do this, let's turn to Google's article on using the modularization approach in Android development [3].

And so, modularization is a practical approach that consists of breaking the project's code base into loosely coupled and autonomous parts, each of which is a separate module. Each such module is independent and created for a clear purpose. For example, a simple application that has a presentation module, a module that represents business logic, and a module for communicating with the data storage environment. Thus, dividing the code base into modules can reduce the complexity of designing and maintaining especially large systems. Let us highlight the main advantages of this approach.

The multimodular approach opens up the possibility that a module's code base can be reused both within a project and across multiple applications. In this case, modules are individual building blocks. An example would be where an application has multiple presentation modules, say a UI module and multiple REST API modules. In this case, they can reuse the functionality of the module (modules) for working with business logic, which in turn uses the module for working with the data storage environment.

Another benefit is increased efficiency in dependency management. It becomes possible to control which module dependencies and which part of its code base needs to be transferred to other modules, and which needs to be hidden or encapsulated.

The next advantage is scalability. When using a properly implemented principle of separation of concerns, changes in one module will not cause a cascade of changes in all other modules of the project [4]. However, often, in practice, in both old and new monolithic projects, this principle is not taken into account, which subsequently significantly increases support resources.

However, in the process of implementing a modularization approach, developers can often encounter risks and common architectural mistakes. For example, each module will introduce additional costs in the form of increased assembly complexity and cumbersome boilerplate code. At the same time, the complexity of the module assembly configuration creates the risk of making it difficult to maintain configuration consistency across all project modules in the long term. The costs of implementing this approach should be assessed to see if they will hinder the improvement in scalability. In such cases, a possible solution would be to conduct an architectural refactoring to find modules that could be consolidated.

Conversely, in some cases, especially on large monolithic multimodule projects that are already quite old, the problem arises that the modules can become too large, thereby spawning another monolith, which in turn deprives almost all the benefits of the multimodularity of the project. For example, business logic modules quite often grow in applications, but some functionality is used only once, at the same time requiring quite a lot of configurations and resource costs [5].

The next danger in implementing a multimodule approach is unnecessary complexity. It is necessary to analyze whether, in principle, it makes sense to split the project into modules. The main thing to pay attention to is the size of the codebase. If the project is not expected to exceed a certain size limit, the scalability gain will be either so small or non-existent that implementing the approach discussed will make no sense. As an example, there is no point in splitting very small microservices that perform one single simple action into modules.

To summarize, to determine whether multimodularity is suitable for a particular project, you can only first assess its expected size, the need for scalability, encapsulation, or simply reduce build time, then it makes sense to consider the possibility of switching to a multimodular architecture.

Multimodularity in Java. Java is one of the most popular object-oriented programming languages today [6]. Generally, more commonly used today for either enterprise development or Android development. In addition to a number of advantages that this language has, one of them has only recently begun to appear in a real development environment - the Java Platform Module System (JPMS). Let's look at how this works, using an article from the Baeldung resource [7] as well as material presented in the book «The Java Module System» [8].

JPMS arrived with the 9th release of Java and brought with it a new layer of abstraction over packages known as the Java Platform Module System.

A module in JPMS itself is a group of closely related packages and resources, along with a newly introduced module descriptor file. The packages within each such module are identical to those already existing in Java. Each module is responsible for its own resources, such as, for example, media or properties and configuration files.

At the time of writing, there are four types of modules: system modules - modules that are listed when the list-modules command is run. They include Java SE and JDK modules. Application modules are those modules that are usually created when there is a need to use multimodularity. They are defined in the compiled «Module-info.class» file included in the compiled JAR file. Automatic modules are unofficial modules that can be added to a project by appending existing JAR files to the module path. The module name will be derived from the name of the JAR file. Automatic modules receive full read access to all other modules that have been written to the path. Unnamed Module - In situations where a class or JAR file is loaded on the classpath but not on the module path, it automatically becomes part of the unnamed module. Thus, it is a universal module that allows backward compatibility with previously written Java code.

Modules have two distribution methods. The first is in the form of a JAR file or in the form of a «disassembled» compiled project. It is also possible to create multimodule projects consisting of a «main program» and several library modules. When creating new modules, you need to make sure that there is only one module in each JAR file. When setting up the build file, it

ISSN 2079-0023 (print), ISSN 2410-2857 (online)

is necessary to combine each project module into a separate JAR file. To configure the module, you need to place a specialized file named Module-info.java in the root of the packages. This file is known as a module descriptor, containing all the data necessary to create and use a new module.

It is worth highlighting a number of problems associated with using the Java Platform Module System. Large number of projects (especially in the corporate environment) are currently avoiding the implementation of this technology due to the difficult migration of existing projects, since it requires quite significant resources and changes. Also, managing dependencies between modules can add complexity to the development process. JPMS requires explicit definition of dependencies, which in turn creates the possibility that the project structure will become more granular and more additional code will need to be written to manage dependencies. Another problem is the limited support for JPMS by the currently extremely popular Maven and Gradle build and deployment systems, which often results in a refusal to implement JPMS into a project. Quite often third-party libraries and frameworks do not have support with JPMS, in cases where their dependency structure is quite complex, or the Java Reflection API is used. In this case, it is necessary to create additional «adapters» that will allow the implementation of JPMS. In some cases, the use of JPMS, like any complex module management structure, can lead to a drop in performance and additional resource costs, which can be especially sensitive for some projects.

Perhaps, the lack of sufficient experience with this technology and, accordingly, its support by third-party frameworks and code makes JPMS a rather controversial option for implementation as a project modularization system, inferior in capabilities to the same tools for assembling and deploying applications such as Gradle and Maven.

Popular solutions. Let's look at popular solutions to improve the process of working with monolithic multimodule applications. The very first and obvious thing is to use popular project build systems for Java projects, such as Apache Maven and Gradle.

Apache Maven is a dependency management and build automation tool primarily used for Java projects [9]. The core concepts of Maven include the POM (Project Object Model) approach, which is an XML file that describes the project structure, its dependencies, plugins and other settings. This file is the main configuration element for Maven and, in turn, contains project information such as name, version, dependencies, etc.

The next concept of Maven is the automatic downloading and management of dependencies, which are specified in the POM file and downloaded automatically using the central Maven repository or other remote repositories. This process build system contains a division of the project build process into several phases, which include compilation, testing, packaging, deployment and others. Each such phase is performed in a specific project and can be configured using plugins. Plugins, in turn, allow you to expand functionality by introducing new build goals or performing other tasks. Maven has both built-in plugins and support for creating your own plugins.

Let's look at how to use Maven for a new project. To do this, we will generate code using the application archetype «maven-archetype-quickstart». We will use the next example command:

mvn archetype:generate -DgroupId=com.example -DartifactId=my-project -DarchetypeArtifactId=maven-archetype-quickstart -DinteractiveMode=false

Further, as the code is written, the necessary dependencies will be added to the project, for example, the JUnit testing framework. To do this, we need to edit the «pom.xml» file and declare the dependency in it. The example for JUnit dependency is displayed on fig. 1.

```
<dependency>
        <groupId>junit</groupId>
        <artifactId>junit</artifactId>
        <version>4.12</version>
        <scope>test</scope>
</dependency>
```

Fig. 1. The example of the «pom.xml» modification

And when everything is ready, we can run the following command to get the project JAR file in the local Maven repository «mvn clean install».

Gradle is also a tool for automating project build, testing, and deployment, with an emphasis on a declarative paradigm as opposed to an imperative one [10]. The project structure and its dependencies are described using DSL (Domain Specific Language). This tool is more flexible in describing the project structure; DSL can be used based on Groovy, Kotlin. There is also support for parallel builds, incremental builds, the ability to create separate tasks, and much more. For example, the ability to define various assembly tasks, configure dependencies, source code sources, resource management, etc. While Maven can also be used for monolithic, multimodule Java projects, Gradle, due to its flexibility and rich customization options, is often preferred for more complex projects with a large number of modules and components.

Let's look on at a simple example of how Gradle allows us to create a task to package, test, further build and deploy a JAR file of a specific module to a specific path. The example is on fig. 2.

The image describes the general example structure of the «build.gradle» files. With defining the plugins, group, version, module dependencies, configured repository sources and specific tasks created manually. This file is placed in each module of the project supported by Gradle build system. The configuration properties could be changed in the «gradle.properties» file placed in resources.

This «build.gradle» file defines the following tasks. «buildModule» – the task that builds the module will first execute the «clean» (to clean up previous builds) and «test» (to run tests) commands, after which a JAR file will be created using the corresponding «Jar» plugin.

ISSN 2079-0023 (print), ISSN 2410-2857 (online)

«testModule» is a task that runs unit tests for the module. «deployModule» – this task deploys the assembled JAR file to the specified directory. Thus, you can execute all three commands by running only one of them.

```
plugins {
        id 'java'
}

group 'com.example'
version '1.0-SNAPSHOT'

repositories {
        mavenCentral()
}

dependencies {
        testImplementation 'junit:junit:4.12'
}

task buildModule(type: Jar) {
        dependsOn 'clean', 'test'
        archiveFileName = "${project.name}-${project.version}.jar"
        destinationDir = file("$buildDir/libs")
        from sourceSets.main.output
}

task testModule(type: Test) {
        testClassesDirs = sourceSets.test.output.classesDirs
        classpath = sourceSets.test.runtimeClasspath
}

task deployModule(type: Copy) {
        dependsOn 'buildModule'
        from "$buildDir/libs"
        into 'path/to/deployment/directory'
}
```

Fig. 2. The example of the «build.gradle» file

Gradle has incremental (enabled by default) and parallel project builds.

Parallel assembly, while reducing time costs, especially for multicore systems, can also significantly increase the required computing resources of the system where it occurs.

And the next recommendation is to use Docker to simplify the deployment process [11]. The use of this technology will bring a number of advantages to the project. The ability to flexibly configure Docker files for each module has a positive impact on the scalability of the project.

Perhaps one of the few disadvantages of this technology is the complexity of configuring the Docker images themselves, especially for beginners and in cases where the project has a complex structure with a large number of dependencies. Docker containers themselves will require additional computing resources to operate. This may result in increased costs for maintaining the application deployment environment [12].

Thus, Docker may introduce additional costs for maintenance and support, including container orchestrators (for example, Kubernetes). However, for large projects this is a good solution that will make the deployment process much more efficient.

Let's look at how to use Docker in practice. Let's imagine that we have a monolithic project in Java, which has several modules, let's call them abstractly «repository», «api», «service», «web». First of all, we will define a Dockerfile for each of the modules. The example of the Dockerfile for «api» is displayed on fig. 3.

The next step will be building and running the Docker images for each of the modules with the next type of commands. «docker build -t myproject-api:1.0 api/» and «docker run -d --name api-container myproject-api:1.0» And this is how we get a running container for the «api» module in the background.

```
# Using a base JDK image
FROM openjdk:11
# Copy a JAR-file from the project build to the container
COPY build/libs/api.jar /app/api.jar
# Define a command for project start
CMD ["java", "-jar", "/app/api.jar"]
```

Fig. 3. The example of the Dockerfile

Conclusions. The result of this article, is examined features of working with multimodule monolithic Java projects.

Listed the key problems of this type of project architecture, ways to solve them, as well as technologies and tools that can improve the efficiency of the development and deployment of these projects, and gave practical examples of their use. Discovered the ways to replace the monolithic architecture with the microservice architecture.

As a summary, the main recommendation discovered in this article is to get rid of most of the problems is to switch to a microservice architecture whenever possible, use the Gradle project build tool and Docker containerization. This makes the development process more effective and reduces the project support costs.

References

1. *Atlassian. Microservices vs. monolithic architecture.* URL: https://www.atlassian.com/microservices/microservices-architecture/microservices-vs-monolith (дата звернення: 3.05.2024).
2. Martin R. *Clean architecture.* Prentice Hall, 2017. 432 p.
3. *Microservices.io. Pattern: Monolithic Architecture.* URL: https://microservices.io/patterns/monolithic.html (дата звернення: 10.05.2024).
4. Fowler M. *Patterns of Enterprise Application Architecture.* Addison-Wesley Professional, 2003. 560 p.
5. *Android Developers. Guide to android app modularization.* URL: https://developer.android.com/topic/modularization (дата звернення: 10.05.2024).
6. Bloch J. *Effective Java.* Addison-Wesley Professional, 2017. 416 p.
7. Franklin C. *A guide to java 9 modularity. Baeldung.* URL: https://www.baeldung.com/java-9-modularity (дата звернення: 10.05.2024).
8. Parlog N. *Java module system.* Manning Publications Co. LLC, 2019. 440 p.
9. Lalou J. *Apache Maven Dependency Management.* Packt Publishing, 2013. 158 c.
10. Muschko B. *Gradle in action.* Manning Publications Co. LLC, 2014. 480 p.
11. Mouat A. *Using docker: developing and deploying software with containers.* O'Reilly Media, Incorporated, 2015. 354 p.
12. Oggl B., Kofler M. *Docker: practical guide for developers and devops teams (the rheinwerk computing).* Rheinwerk Computing, 2023. 491 p.

References (transliterated)

1. *Atlassian. Microservices vs. monolithic architecture.* Available at: https://www.atlassian.com/microservices/microservices-architecture/microservices-vs-monolith (accessed 10.05.2024).
2. Martin, R. C. *Clean Architecture.* Prentice Hall, 2017. 432 p.

ISSN 2079-0023 (print), ISSN 2410-2857 (online)

3. Microservices.io. *Pattern: Monolithic Architecture*. Available at: https://microservices.io/patterns/monolithic.html (accessed 10.05.2024).
4. Fowler M. *Patterns of Enterprise Application Architecture*. Addison-Wesley Professional, 2003. 560 p.
5. *Android Developers. Guide to Android app modularization*. Available at: https://developer.android.com/topic/modularization (accessed 10.05.2024).
6. Bloch, J. *Effective Java*. Addison-Wesley Professional, 2017. 416 p.
7. Franklin, C. *A Guide to Java 9 Modularity. Baeldung*. Available at: https://www.baeldung.com/java-9-modularity (accessed 10.05.2024).
8. Parlog, N. *The Java Module System*. Manning Publications Co. LLC, 2019. 440 p.
9. Lalou, J. *Apache Maven Dependency Management*. Packt Publishing, 2013. 158 p.
10. Muschko B. *Gradle in action*. Manning Publications Co. LLC, 2014. 480 p.
11. Mouat A. *Using docker: developing and deploying software with containers*. O'Reilly Media, Incorporated, 2015. 354 p.
12. Oggl B., Kofler M. *Docker: practical guide for developers and devops teams (the rheinwerk computing)*. Rheinwerk Computing, 2023. 491 p.

Received 15.05.2024

УДК 004.41

М. Д. ВЕРЕС, Студент, Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Науки 14, Харків, Україна, 61166; e-mail: maksym.veres@nure.ua; ORCID: https://orcid.org/0009-0009-1768-8693

Н. В. ГОЛЯН, доцент кафедри програмної інженерії, Харківський національний університет радіоелектроніки, пр. Науки, 14, м. Харків, Україна, 61166; e-mail: nataliia.golian@nure.ua; ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1390-3116

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ РОЗРОБКИ МОНОЛІТНИХ БАГАТОМОДУЛЬНИХ ПРОЕКТІВ НА JAVA

В останні роки спостерігається зростання складності розробки програмного забезпечення на Java та зміна обсягу проектів, у тому числі збільшення кількості модулів у проектах. Багатомодульність проектів хоча й покращує певною мірою керованість, але часто створює низку проблем, які можуть ускладнити розробку та, проблему, яка з'явиться в майбутньому, вимагати більше ресурсів для підтримки. У цій статті буде проаналізовано основні проблеми монолітних багатомодульних Java-проектів і зроблена спроба розглянути ряд можливих рішень для подолання вищезазначених проблем. У статті розглядаються особливості роботи з багатомодульними монолітними проектами з використанням Java як основної мови програмування. Метою даної статті є виявлення особливостей і перешкод при використанні вищезазначеного архітектурного підходу програмного забезпечення, аналіз основних можливих проблем роботи з монолітними багатомодульними Java-проектами, а також надання рекомендацій щодо усунення цих перешкод або опису особливостей процесу, який може допомогти інженерам у підтримці такого роду проектів. Іншими словами, основною метою даної роботи є створення рекомендацій, надання сучасних кращих практик роботи з монолітною багатомодульною архітектурою програмного забезпечення та найпопулярнішими сучасними технологічними рішеннями, які використовуються в корпоративній розробці. Запропоновані рекомендації дозволяють команді, насамперед розробникам та інженерній стороні, уникнути можливих перешкод, які призводять до втрати ефективності процесу розробки монолітного програмного забезпечення. Найважливішою перевагою, з рекомендацій, наведених у статті, є оптимізація витрат ресурсів (часових, грошових і трудових) на процес розробки. В результаті статті отримано загальний список рекомендацій, який дозволяє розробнику краще проаналізувати, які зміни в проекті необхідно (якщо необхідно) внести для оптимізації процесів розробки, збірки та розгортання монолітного Java-проекту, а також поради для розробки нового програмного забезпечення, щоб уникнути основних перешкод монолітної архітектури в майбутньому.

Ключові слова: монолітна архітектура, багатомодульна архітектура, Java, збірка проекту, модуль, розробка, розгортання проекту.

Повні імена авторів / Author's full names

Автор 1 / Author 1: Верес Максим Дмитрович / Veres Maksym Dmytrovych
Автор 2 / Author 2: Голян Наталія Вікторівна / Golian Natalia Viktorivna