

*Маслюк Леонід Анатолійович* (кандидат технічних наук, старший науковий співробітник)

*Гавалко Василь Іванович* (кандидат технічних наук, доцент)

*Колодяжний Анатолій Михайлович*

*Джигомон Сергій Костянтинівич*

*Національний університет оборони України, Київ, Україна*

## УДОСКОНАЛЕНИЙ АЛГОРИТМ РОЗРАХУНКУ ЗНАЧЕНЬ ЧАСОВИХ ПОКАЗНИКІВ В ІЄРАРХІЧНИХ СТРУКТУРАХ ЗАВДАНЬ ПЛАНІВ ПІДГОТОВКИ ОПЕРАЦІЙ

Важливими і відповідальними заходами під час підготовки і планування операції є проведення розрахунку часу і формування документів з організації роботи органу військового управління, які передбачають проведення розрахунків часових показників виконання завдань плану підготовки операції службовими особами та підпорядкованими частинами (підрозділами). Безпосереднє використання класичних методів і алгоритмів у галузі планування і управління проектами (планами) для вирішення таких завдань неможливе через специфіку структури таких планів і певні обмеження щодо часових показників їх завдань. Враховуючи необхідність неодноразового проведення таких розрахунків і забезпечення високого рівня оперативності під час виконання цих завдань у сучасних умовах підготовки операції, метою статті є розроблення удосконаленого алгоритму для проведення розрахунку часових показників завдань плану підготовки операції в автоматичному режимі. Для досягнення поставленої мети були використані методи у галузі планування і управління проектами (планами), нотації з моделювання бізнес-процесів Business Process Model And Notation та рекурентні методи. Зазначений методологічний підхід дає змогу подати типові плани і плани підготовки операції у вигляді цілісних ієрархічних структур завдань із необхідною деталізацією на кожному рівні діаграмами процесів, більш детально проаналізувати процес проведення розрахунків часових показників у структурах такого типу та визначити особливості, які необхідно врахувати в розробленому алгоритмі. У статті запропоновано удосконалений рекурентний алгоритм розрахунку часових показників ієрархічної структури завдань плану підготовки операції, який забезпечує послідовне, згори донизу, проведення пошарових розрахунків на кожному рівні ієрархії з урахуванням зафіксованих значень часових показників. За виникнення проблемної ситуації на будь-якому рівні, здійснюється аналіз можливостей використання резервів часу завдань цього рівня і старшого завдання плану. За можливості, вносяться певні зміни до значень часових показників вказаних завдань і, за необхідності, організовується рекурентний перерахунок, починаючи з більш високих рівнів ієрархічної структури завдань плану з урахуванням внесених змін. Процес рекурентного розрахунку продовжується до повного визначення часових показників завдань плану на усіх рівнях, або завершується на певному кроці за неможливості продовження обчислень з формуванням відповідного повідомлення щодо існуючої проблеми. У статті вперше застосована сукупність методів і підходів для вирішення проблемного питання до проведення розрахунків часових показників завдань в ієрархічних структурах планів підготовки операції в автоматичному режимі з урахуванням існуючих обмежень. Наукова новизна полягає у подальшому розвитку класичних методів у галузі планування і управління проектами (планами). Практична значущість отриманих результатів дослідження для сфери оборони полягає у суттєвому підвищенні ефективності інформаційно-аналітичної підтримки роботи службових осіб органів військового управління під час підготовки і планування операції за використання запропонованого алгоритму у відповідному спеціальному програмному забезпеченні автоматизованих систем управління військами.

**Ключові слова:** орган військового управління, план підготовки операції, ієрархічна структура даних, розрахунок часу, часові показники завдань плану.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Одним із важливих факторів у досягненні переваги над противником в сучасних умовах ведення збройної боротьби є забезпечення високого рівня оперативності під час

прийняття рішень на застосування військ (сил) та засобів озброєння і військової техніки. У зв'язку з цим, особлива увага надається можливості зі скорочення термінів підготовки і планування

операцій та своєчасного доведення завдань до відповідальних виконавців. Досягнення позитивних результатів у цьому аспекті може забезпечити лише високий рівень автоматизації усіх процесів під час підготовки і планування операції.

Одним із проблемних питань в процесі планування операції є проведення розрахунків часових показників завдань плану підготовки операції з метою оперативного формування, уточнення та доведення до відповідальних виконавців документів з організації роботи органів військового управління (далі – ОВУ).

На сьогодні службовими особами органів військового управління у Збройних Силах України (далі – ЗС України) виконання цих завдань здійснюється з використанням програмного забезпечення з обмеженими можливостями до проведення зазначених розрахунків. Враховуючи, що розрахунки можуть проводитися декілька разів, а план підготовки операції містить значний обсяг заходів і завдань із певними обмеженнями часових показників та являє собою ієрархічну структуру, проведення розрахунків таким способом потребує суттєвих часових затрат і негативно впливає на оперативність роботи службових осіб ОВУ під час підготовки і планування операції.

Водночас, безпосереднє використання відомих класичних методів й алгоритмів планування і управління проектами (планами) для їх реалізації у відповідному спеціальному програмному забезпеченні у складі автоматизованих систем управління військами (далі – АСУВ) для виконання розрахунків в автоматичному режимі практично неможливе через специфічну ієрархічну структуру планів підготовки операцій і можливі зміни й фіксацію значень їх часових показників.

Враховуючи зазначене та складність проведення розрахунків часових показників завдань плану підготовки операції, розробка удосконалених методів й алгоритмів у галузі планування і управління проектами (планами), що забезпечують високий рівень оперативності у процесі вирішення практичних завдань службовими особами ОВУ під час підготовки і планування операції, є актуальним завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Найбільш характерними особливостями підготовки і планування операції у ЗС України в умовах повномасштабної агресії російської федерації є необхідність урахування величезної кількості факторів, пов'язаних із появою нових способів та методів ведення бойових дій, залученням до проведення операцій усіх складових сил оборони держави та їх органів управління, нових систем управління і зразків озброєння й військової техніки країн НАТО та інших розвинутих у військовій сфері країн світу [1]. У таких умовах плани підготовки операцій охоплюють надзвичайно широкий спектр завдань, у тому числі специфічних, які необхідно

вирішити для всебічної якісної підготовки операції, і оперативно довести до відповідальних виконавців. Враховуючи, що в сучасних високодинамічних умовах підготовки та ведення бойових дій розробка плану підготовки операції й доведення визначених завдань плану до відповідальних виконавців мають здійснюватися у максимально стислі терміни, розрахунок часових показників завдань не має впливати на оперативність виконання цих заходів і здійснюватися в автоматичному режимі.

У результаті досліджень, проведених у Національному університеті оборони України на командно-штабних навчаннях зі слухачами університету, в ході виконання оперативних завдань з підготовки штабів з'єднань і частин, а також під час роботи у складі комісій із приймання дослідно-конструкторських робіт з розроблення АСУВ було встановлено таке. На цей час, в органах управління ЗС України різних рівнів, у процесі підготовки і планування операцій для розроблення планів підготовки операції, проведення розрахунків часових показників їх завдань та формування документів з організації роботи ОВУ, використовуються, зазвичай, програми офісного пакету Microsoft або окремі програмні застосування з низьким рівнем функціональності [1]. Тобто, виконання розрахунків службовими особами ОВУ здійснюється практично вручну, що потребує значних витрат часу та не забезпечує ефективної інформаційно-аналітичної підтримки і високого рівня оперативності під час підготовки і планування операції.

Проблема суттєво ускладнюється тим, що розрахунки часових показників плану підготовки операції згідно доктринальних положень НАТО здійснюється неодноразово [6; 7]: після отримання завдання, під час аналізу завдання командувачем і формування документів «Розрахунок часу на підготовку операції», «Календарний план підготовки операції» й «План-графік роботи командувача і штабу» в ході планування.

Складність програмної реалізації автоматичного розрахунку часових показників завдань плану підготовки операції полягає у тому, що завдання плану завжди подаються у вигляді ієрархічних структур даних і часові показники певних завдань у плані можуть бути зафіксованими, тобто такими, що не підлягають зміні. Крім того, існують певні обмеження щодо мінімального терміну виконання завдань.

Відомі ж класичні методи й алгоритми у галузі планування і управління проектами (планами) (мережевого планування і управління [2], Метод критичного шляху (Critical path method (далі – CPM)) [3], Методика оцінювання й аналізу проектів (Program Evaluation and Review Technique (далі – PERT)) [4], Структура розбиття робіт (Work Breakdown Structure (далі – WBS)) [5] забезпечують в основному проведення розрахунків тільки в однорівневих планах, або оцінювання і

аналіз з декомпозицією планів на складові й послідовному їх пошаровому розрахунку в ієрархічних структурах. Усі вони передбачають також попереднє визначення тривалості виконання заходів і не чутливі до певних часових обмежень і фіксованих значень часових показників завдань плану. Проте наявність останніх може призвести до неприйнятної скорочення термінів виконання завдань або навіть унеможливити проведення розрахунків. До того ж під час оцінювання й аналізу планів ієрархічних структур з використанням класичних методів передбачається залучення експертів й відповідних фахівців. Через це, безпосереднє використання класичних методів й алгоритмів для проведення автоматичного розрахунку часових показників завдань плану підготовки операції під час планування операції – неможливе.

**Метою статті** є розроблення удосконаленого алгоритму для забезпечення автоматичного розрахунку значень часових показників завдань в ієрархічних структурах планів підготовки операцій з урахуванням можливості їх формування на основі типових планів, наявності зафіксованих значень часових показників завдань (заходів) і встановлених мінімальних термінів виконання завдань.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Запропонований у статті удосконалений алгоритм розрахунку часових показників ієрархічної структури завдань плану підготовки операції базується на класичних методах й алгоритмах у галузі планування і управління проектами (планами) (CPM та PERT), методах нотації з моделювання бізнес-процесів (business process model and notation (далі – BPMN)) та рекурентних підходах. Алгоритм забезпечує послідовний пошаровий розрахунок часових показників ієрархічної структури завдань плану підготовки операції згори донизу з урахуванням зафіксованих значень часових показників. Ці значення завдань плану підготовки операції встановлюються користувачем обчислювальної системи відповідно до наведених у директивному документі даних, вказівок командувача (начальника штабу) і не підлягають зміні у процесі проведення розрахунків.

Розрахунок значень часових показників завдань на кожному кроці пошарових розрахунків передбачає побудову шляхів мережевого графіка і проведення розрахунків із використанням методу мережевого планування і управління. Вихідними даними для розрахунку на кожному кроці рекурсії є часові показники старшого завдання та власні часові показники завдань побудованих шляхів.

В процесі проведення розрахунків можуть виникати проблемні ситуації, пов'язані з отриманням часових інтервалів завдань, менших від мінімально допустимих, через недостатній часовий інтервал старшого завдання або інтервал

ділянки побудованого шляху, визначеного зафіксованими значеннями часових показників певних завдань. У разі виникнення проблемної ситуації на будь-якому рівні структури плану, в алгоритмі аналізується можливість і здійснюється внесення певних змін до значень часових показників завдань побудованих шляхів та/або старшого завдання. В останньому випадку виконується рекурентний перерахунок, починаючи з більш високих рівнів ієрархічної структури завдань плану з урахуванням внесених змін. Процес пошарових розрахунків з використанням рекурсії продовжується до повного визначення часових показників завдань плану на усіх рівнях. У разі неможливості коректної зміни часових показників завдань плану на будь-якому кроці процес розрахунків завершується і формується відповідне повідомлення щодо існуючої проблеми.

У запропонованому алгоритмі передбачається використання наступних сутностей: типовий план (далі – *Typical Plan*) і план підготовки операції (далі – *Plan*). Ці плани подано у вигляді ієрархічної структури діаграм процесів, побудованих з використанням методів нотації з моделювання бізнес-процесів BPMN [1], що забезпечує можливість чіткого визначення послідовності й умов виконання завдань (заходів) на кожному рівні ієрархічної структури.

Алгоритм забезпечує проведення контролю цілісності плану, коректності його побудови та виконання розрахунків часових показників завдань у двох режимах:

перший – розрахунок часових показників завдань *Plan* на основі відсотків, що містяться у вибраному *Typical Plan*, та реальних часових показників стосовно початку підготовки операції, завершення процесу оперативного планування та завершення підготовки операції; вказані часові показники вводяться службовою особою на основі розпорядчого документа;

другий – розрахунок нових значень часових показників завдань *Plan* після редагування структури його завдань, зміни та фіксування певних їх часових показників.

Контроль цілісності плану здійснюється в процесі проведення розрахунків. Для реалізації алгоритму використовуються наступні структури даних та змінні:

*Task* – окреме завдання у плані, а також сам *Plan* (структура даних визначена авторами, наведена у табл. 1);

*Tasks* – набір завдань;

*Path* – шлях мережевого графіка (структура даних визначена авторами, наведена у табл. 2);

*Paths* – набір шляхів, що будуються у процесі проведення розрахунків;

*Portion* – частка часового інтервалу старшого завдання, що припадає на один відсоток або одну хвилину вкладених завдань, хв/% або хв/хв;

*MinTimeIntrvl* – мінімальний часовий інтервал завдання, хв;

*Command* – команда на розрахунок; визначає

режим проведення розрахунків й приймає значення: *ByPercent* – розрахунок часових показників завдань *Plan* за відсотками, що містяться у завданні *Typical Plan*;

*ByTime* – розрахунок часових показників завдань *Plan* на основі попередніх їх значень;

*Error* – сформоване текстове повідомлення про помилку;

$\Delta t$  – сумарний інтервал часу, необхідний для збільшення часових інтервалів завдань (завдання) з метою забезпечення коректності їх значень, хв.

Таблиця 1

Структура даних завдання (*Task*)

Ідентифікатор	Назва	Вкладені завдання	Дата, час початку	Дата, час завершення	Дата, час завершення процесу оперативного планування	Старше завдання	Часовий інтервал, хв	Інтервал, %	Значення початку зафіксоване
Тип даних									
Число	Текст	Структура	Дата, час	Дата, час	Дата, час	Task	Число	Число	Булевий
Позначення									
ID	Name	Tasks	Beg	End	OpEnd	Parent	TimeIntrv	Percent	IsFixBeg
Тип даних									
Булевий	Число	Число	Число	Число	Число	Число	Булевий	Число	
Позначення									
IsFixEnd	IntrvInChild	BegResLeft	BegResRight	EndResLeft	EndResRight	IsCalc	Reserv		

Таблиця 2

Структура даних шляху мережевого графіка (*Path*)

Перелік завдань у шляху	Сумарний інтервал, %	Сумарний інтервал, хв	Є критичним шляхом	Дата, час початку	Дата, час завершення	Завдання, що знаходиться перед шляхом	Завдання, що знаходиться після шляху
Тип даних							
Tasks	Число	Число	Булевий	Дата, час	Дата, час	Task	Task
Позначення							
Tasks	IntrvPerc	IntrvTime	IsCritical	PathBeg	PathEnd	TaskPred	TaskNext

У різних мовах програмування властивості об'єктів позначаються з використанням різних символів або їх сукупності. У статті використана нотація мови програмування *Object Pascal*, де властивості об'єктів позначаються через символ “.”. Наприклад, старше завдання для об'єкта *Task* буде позначатися як *Task.Parent*. Узагальнена структура алгоритму наведена на рис. 1.

У роботі алгоритму використовується завчасно визначена процедура *Errors*, призначена для формування текстового повідомлення про помилку. Процедура містить підготовлений проідентифікований набір текстових шаблонів, які охоплюють усі можливі помилки, що можуть виникнути в процесі аналізу діаграм процесів у плані підготовки операції, перевірки їх коректності, побудові шляхів мережевих графіків і проведенні розрахунків часових показників завдань. У разі отримання вхідних даних процедура забезпечує вибір конкретного шаблону за ідентифікатором помилки, його заповнення отриманими назвами завдань і даними та повернення сформованого текстового повідомлення про помилку (*Error*).

Блок алгоритму “*Редактор плану*” забезпечує виконання таких основних функцій: створення нового *Plan*; введення за даними директивного документа вихідних даних за *Plan* (його назви,

часових показників щодо початку підготовки операції, завершення процесу оперативного планування та завершення підготовки операції); вибір у базі даних (далі – БД) *Typical Plan*, який максимально відповідає реальним умовам підготовки операції та вибраному методу роботи службових осіб ОВУ, його завантаження із БД та копіювання усіх заходів (завдань) із *Typical Plan* в *Plan*; присвоєння введених значень часових показників відповідним завданням (заходам) й відправлення *Plan* на розрахунок з командою *Command = ByPercent*; редагування структури *Plan* та часових показників його завдань після успішного завершення першого етапу розрахунків й фіксацію необхідних часових показників; відправлення *Plan* на розрахунок з командою *Command = ByTime*; збереження у БД остаточного варіанту плану підготовки операції. За необхідності збережений у БД план може бути повторно завантажений, відредагований, перерахований і збережений у БД як новий варіант.

За отримання повідомлення після проведення розрахунків про наявність помилки (*Error*) у блоці алгоритму забезпечується можливість внесення відповідних змін у *Plan*, редагування часових показників його завдань і повторне відправлення *Plan* на розрахунок.

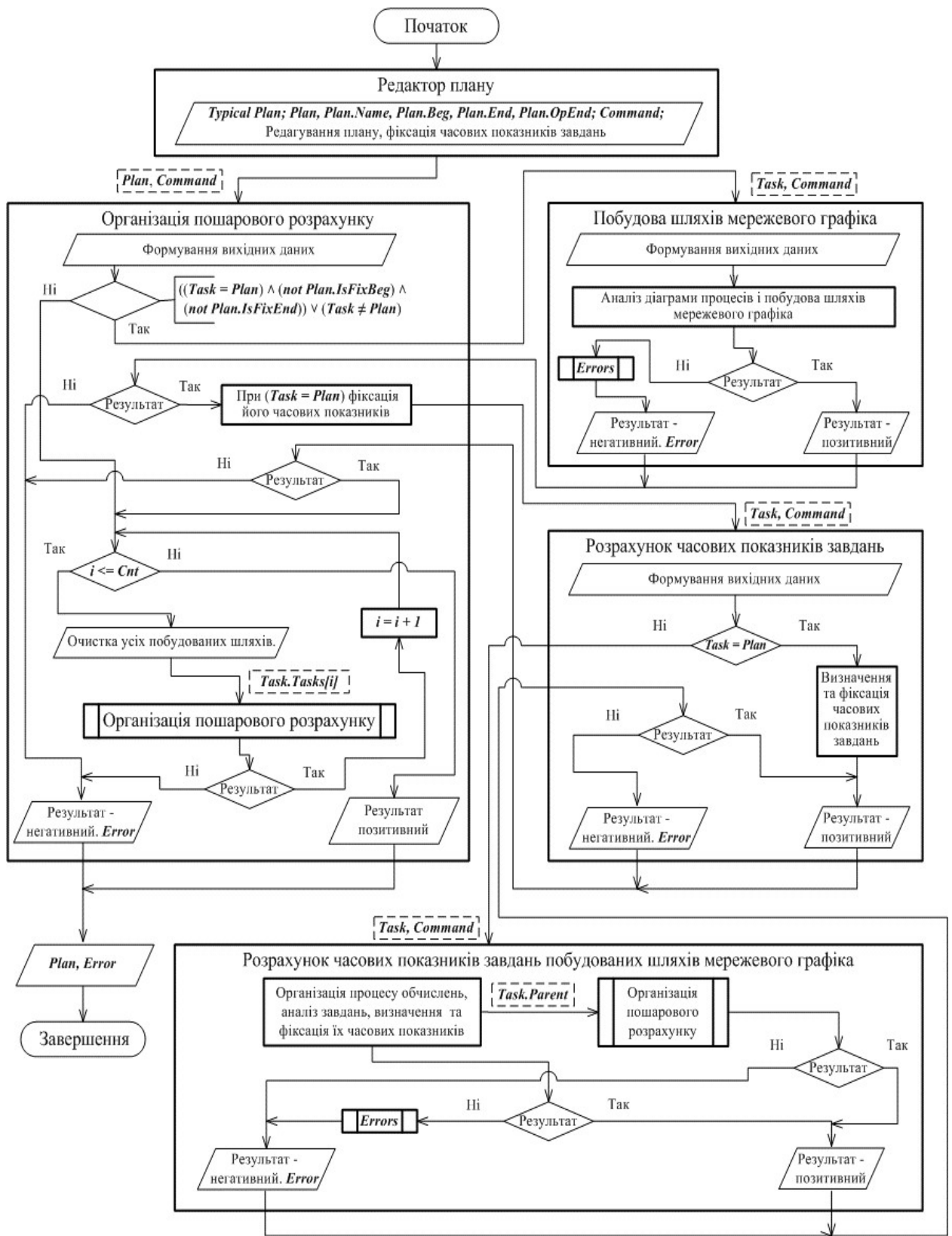


Рисунок 1 – Узагальнена структура алгоритму

Всі охарактеризовані нижче блоки алгоритму окрім даних, модифікованих в процесі роботи і вказаних біля зв'язків між блоками, повертають також власні результати виконання розрахунків чи проведення аналізу у форматі "Так / Ні". У процесі формування вихідних даних у кожному блоці

власний результат встановлюється негативним. За умови коректного відпрацювання усіх процедур блоку його результат визначається позитивним. На вхід блоків на розрахунок може подаватися як сам *Plan*, так і будь яке завдання зі складу *Plan*, яке, в свою чергу, містить вкладені завдання. Через це в

усіх блоках, під час формування вихідних даних, вводиться поточна локальна змінна *Task*, значення якої визначається цим вхідним параметром.

*Робота блоку алгоритму “Організація пошарового розрахунку”*. Блок алгоритму реалізує рекурентний процес проведення пошарових розрахунків часових показників завдань *Plan* на усіх рівнях його ієрархічної структури. Під час формування вихідних даних здійснюється очистка усіх побудованих шляхів. На вході блоку здійснюється також присвоєння значення змінним: лічильнику вкладених завдань у поточній змінній *Task*  $i=1$  та загальній їх кількості  $Cnt = Task.Tasks.Count$ .

Після формування вихідних даних здійснюється перевірка наступної умови: поточна локальна змінна *Task* є *Plan* і у *Plan* не зафіксовані часові показники його початку й завершення або поточна локальна змінна *Task* не є *Plan*:

$$\left( (Task.ID = Plan.ID) \wedge (not Plan.IsFixBeg) \wedge (not Plan.IsFixEnd) \right) \vee (Task.ID \neq Plan.ID) \quad (1)$$

Така перевірка необхідна для правильної організації рекурентного розрахунку, в процесі якого блок “Організація пошарового розрахунку” використовується багаторазово і на його вхід можуть подаватися для розрахунку як сам *Plan*, так і вкладені завдання різних рівнів ієрархії, які, у свою чергу, також мають вкладені завдання.

За виконання вказаної умови, та, якщо *Task* попередньо не перерахована (*not Task.IsCalc*), у її вкладених завданнях на усю глибину ієрархії знімається ознака попереднього розрахунку (*IsCalc = False*) і *Task* передається у блок “Побудова шляхів мережевого графіка”. У випадку позитивного результату відпрацювання цього блоку процес переходить до внутрішнього блоку “Фіксація часових показників *Plan*”, у якому за умови  $Task.ID = Plan.ID$  фіксуються часові показники його початку й завершення ( $Task.IsFixBeg = True$ ,  $Task.IsFixEnd = True$ ), і *Task* передається у блок “Розрахунок часових показників завдань”. У разі отримання позитивного результату цього блоку поточній змінній *Task* присвоюється ознака попереднього розрахунку

(*Task.IsCalc = True*) і процес переходить далі до перевірки значення лічильника *i* на не перевищення кількості вкладених завдань поточної змінної *Task* ( $i \leq Cnt$ ). За негативного результату блоків “Побудова шляхів мережевого графіка” та/або “Розрахунок часових показників завдань”, від них повертається повідомлення про наявність проблемної ситуації (*Error*), процес розрахунків завершується, результат блоку залишається негативним і у блок “Редактор плану” повертається відповідне повідомлення про наявність помилки.

За невиконання умови (1) у внутрішньому блоці “Виконання попередніх перевірок” у

подальшому здійснюється перевірка значення лічильника *i* на не перевищення кількості вкладених завдань поточної *Task* ( $i \leq Cnt$ ). Якщо умова виконується, здійснюється очистка всіх побудованих шляхів і вкладене завдання поточної змінної *Task.Tasks[i]* передається на рекурентний розрахунок у блок “Організація пошарового розрахунку”. За позитивного результату роботи цього блоку значення лічильника *i* збільшується на одиницю і рекурентний процес продовжується до повного розрахунку усіх вкладених завдань на усіх рівнях ієрархії (поки на кожному з них не виконується умова  $i \leq Cnt$ ). У випадку негативного результату рекурентного розрахунку на будь-якому рівні здійснюється переривання процесу розрахунків, результат роботи блоку залишається негативним і видається відповідне повідомлення про помилку (*Error*).

*Робота блоку алгоритму “Побудова шляхів мережевого графіка”*. Блок забезпечує побудову усіх шляхів мережевого графіка, поданого у вигляді діаграми процесів [1], сформованої вкладеними завданнями поточної змінної *Task*. Після формування вихідних даних побудова шляхів здійснюється у внутрішньому блоці “Аналіз діаграми процесів і побудова шляхів мережевого графіка” з використанням властивостей діаграми процесів таким чином:

спочатку створюється початкова кількість шляхів за кількістю зв'язків від стартової події діаграми до завдань або елементів управління, які додаються у кожний створений шлях;

у подальшому для кожного шляху аналізуються зв'язки від останніх його завдань (елементів управління) до наступних;

якщо кількість зв'язків дорівнює одиниці, у поточний шлях додається цей елемент діаграми;

якщо кількість зв'язків більша одиниці (розгалуження процесу), створюються нові шляхи за кількістю зв'язків мінус одиниця; у кожний заново створений шлях копіюються усі завдання із поточного шляху; у поточний шлях додається елемент діаграми за першим існуючим зв'язком, у кожний заново створений шлях додається елемент діаграми за іншими зв'язками;

процес аналізу і додавання елементів діаграм у кожний шлях та додавання нових шляхів продовжується до досягнення завершальної події у кожному шляху мережевого графіка.

У процесі побудови кожного із шляхів мережевого графіка у внутрішньому блоці здійснюється визначення їх сумарних часових інтервалів залежно від значення *Command*:

*ByPercent* – інтервал у відсотках (*IntrvPerc*);

*ByTime* – інтервал у хвилинах (*IntrvTime*).

У процесі побудови шляхів здійснюється також перевірка цілісності діаграми на всіх рівнях ієрархічної структури завдань плану підготовки операції та коректності побудови на верхніх її рівнях. Перевірка цілісності діаграми здійснюється за ознаками: наявності стартової та завершальної

подій, кожний з побудованих шляхів має завершальну подію. Коректність побудови діаграми контролюється для: вкладених завдань плану підготовки операції; вкладених завдань заходу “Процес оперативного планування”; вкладених завдань заходу “Заходи за напрямками підготовки операції”.

Вкладені завдання плану підготовки операції мають бути наведені двома паралельними процесами – “Процес оперативного планування” та “Заходи за напрямками підготовки операції”; вкладені завдання заходу “Процес оперативного планування” – одним процесом, який містить послідовні етапи планування; вкладені завдання заходу “Заходи за напрямками підготовки операції” – розпаралеленими процесами, кожний з яких містить тільки один конкретний захід.

Якщо у процесі побудови шляхів мережевого графіка помилки не виявлено, побудовані шляхи зберігаються, результат роботи блоку визначається позитивним і здійснюється повернення до блоку “Організація пошарового розрахунку”.

За виникнення помилки, визначається її ідентифікатор, який разом із назвою поточної змінної *Task* та, за необхідності конкретизації місця помилки у діаграмі, назв відповідних вкладених завдань (*Tasks*) передаються у процедуру *Errors*. В останній за наданими даними формується конкретне тестове повідомлення про помилку (*Error*), побудовані шляхи очищуються і у блок “Організація пошарового розрахунку” повертається негативний результат з повідомленням про помилку.

Робота блоку “Розрахунок часових показників завдань”. Після отримання поточної змінної *Task* на розрахунок за формування вихідних даних здійснюється перевірка  $Task.ID = Plan.ID$ . За виконання цієї умови у внутрішньому блоці “Визначення та фіксація часових показників завдань” вкладеним заходам *Plan* “Процес оперативного планування” та “Заходи за напрямками підготовки операції” присвоюються та фіксуються відповідні значення, введені під час формування плану, результат роботи блоку визначається позитивним і здійснюється перехід до блоку “Організація пошарового розрахунку”. За не виконання умови  $Task.ID = Plan.ID$  поточна змінна *Task* та *Command* передаються в блок “Розрахунок часових показників завдань побудованих шляхів мережевого графіка”. За позитивного результату останнього, результат роботи блоку визначається позитивним і процес розрахунків повертається до блоку “Організація пошарового розрахунку”. У випадку негативного результату у будь-якому з блоків розрахунку часових показників завдань шляхів мережевого графіка результат блоку визначається негативним, формується відповідне повідомлення про помилку і процес розрахунків завершується.

Робота блоку “Розрахунок часових показників завдань побудованих шляхів мережевого графіка”

організована залежно від значення *Command*.

У внутрішньому блоці “Організація процесу обчислень, аналіз завдань, визначення та фіксація їх часових показників” спочатку здійснюється розрахунок часових показників завдань критичного шляху, а потім – послідовно усіх некритичних шляхів. Робота внутрішнього блоку також організована залежно від значення *Command*.

За умови  $Command = ByPercent$  критичний шлях відшукується серед побудованих шляхів за максимальною величиною їх показника *IntrvPerc* та визначається значення змінної *Portion* за залежністю:

$$Portion = Task.TimeInterval / IntrvPerc \quad (2)$$

Значення змінної *Portion* зберігається незмінним протягом роботи з усіма шляхами, побудованими на цьому етапі рекурентного розрахунку.

Послідовно для кожного *i*-го завдання критичного шляху (*Task[i]*) з використанням власних даних та даних поточної змінної *Task* визначаються такі показники:

для першого завдання:

$$Task[i].Beg = Task.Beg;$$

$$Task[i].IsFixBeg = Task.IsFixBeg;$$

$$Task[i].BegResLeft = Task.BegResLeft;$$

$$Task[i].TimeIntrvl = Task[i].Percent * Portion;$$

*Task[i].End* визначається відомими методами, використовуючи значення *Task[i].Beg* і *Task[i].TimeIntrvl* (за аналогією може визначатися і *Task[i].Beg*);

для усіх наступних завдань, окрім останнього:

$$Task[i].Beg = Task[i - 1].End;$$

$$Task[i].TimeIntrvl = Task[i].Percent * Portion; \quad (4)$$

$$Task[i].End;$$

для останнього завдання:

$$Task[i].End = Task.End;$$

$$Task[i].IsFixEnd = Task.IsFixEnd;$$

$$Task[i].TimeIntrvl = Task[i].Percent * Portion; \quad (5)$$

$$Task[i].EndResRight = Task.EndResRight;$$

$$Task[i].Beg.$$

У процесі визначення часових показників завдань (*Task[i]*) здійснюється перевірка значення їх параметру *TimeIntrvl*. Якщо його значення перевищує  $\max(\text{MinTimeIntrvl}, \text{IntrvlInChild})$ , то для кожного завдання визначається його власний резерв часу:

$$Reserv = BegResLeft + EndResRight + \text{TimeIntrvl} - \max(\text{MinTimeIntrvl}, \text{IntrvlInChild}) \quad (6)$$

Інакше, власний резерв часу такого завдання встановлюється рівним нулю.

Значення параметру *Task[i].IntrvlInChild* для перерахованого завдання визначається в процесі його рекурентного розрахунку; для неперерахованого завдання воно приймається рівним значенню *MinTimeIntrvl*.

Якщо значення параметру завдання  $Task[i].TimeIntrvl$  менше від значення  $\max(\text{MinTimeIntrvl}, \text{IntrvlInChild})$ , воно приймається рівним більшому з вказаних. В останньому випадку, визначається значення змінної  $\Delta t$ , яке приймається рівним сумі величин, на які збільшені часові інтервали усіх завдань шляху. У подальшому, за можливості, величина змінної  $\Delta t$  розподіляється між завданнями, які мають власні резерви часу. Розподіл  $\Delta t$  між вказаними завданнями здійснюється прямо пропорційно їхнім власним резервам. Для кожного з таких завдань визначаються нові значення параметру  $TimeIntrvl$  шляхом зменшення його на величину розподіленої на них частки  $\Delta t$ . Після цього для усіх завдань шляху знову визначаються їх часові показники як було наведено вище.

За неможливості повного розподілу  $\Delta t$  між завданнями шляху, які мають власний резерв часу, проводиться її частковий розподіл, визначається нове значення змінної  $\Delta t$  як залишок від нерозподіленого і визначаються часові показники завдань шляху.

Величина змінної  $\Delta t$  (за неможливості розподілу взагалі) або її залишок використовується у подальшій роботі алгоритму, як буде показано нижче.

Після визначення наведених показників завдань критичного шляху для кожного завдання визначаються всі ще невизначені показники резервів часу ( $BegResLeft$ ,  $BegResRight$ ,  $EndResLeft$ ,  $EndResRight$ ,  $Reserv$ ) на основі уже отриманих значень часових показників і максимально можливих скорочень значення показників  $TimeIntrvl$  кожного із завдань. Усім завданням критичного шляху присвоюється ознака попередньо перерахованих  $Task[i].IsCalc = True$ .

У подальшому отримується значення показника  $IntrvlInChild$  поточної змінної  $Task$  також на основі максимально можливих скорочень значення показників  $TimeIntrvl$  кожного із завдань. Після цього поточна змінна  $Task$  вважається перерахованою ( $Task.IsCalc = True$ ).

За умови  $Command = \text{ByTime}$  у внутрішньому блоці “*Організація процесу обчислень, аналіз завдань, визначення та фіксація їх часових показників*” критичний шлях відшукується серед побудованих шляхів за максимальним значенням їх показника  $IntrvlTime$ , значення змінної  $Portion$  визначається за залежністю:

$$Portion = Task.TimeInterval / IntrvlTime \quad (7)$$

Робота внутрішнього блоку аналогічна попередньому випадку, з тією відмінністю, що аналіз завдань критичного шляху та визначення значень їх часових показників здійснюється на окремих ділянках шляху, розділених зафіксованими часовими показниками завдань.

В обох режимах роботи внутрішнього блоку у разі виникнення необхідності зміни часових показників поточної змінної  $Task$  через

неможливість повного або часткового розподілу значення змінної  $\Delta t$  між завданнями шляху проводиться аналіз можливості зміни часових показників у поточній змінній  $Task$  ( $End$  та/або  $Beg$ ) на величину  $\Delta t$ . В першу чергу аналізується можливість повного використання її резерву часу  $Task.EndResRight$ . Це пов'язано з тим, що в процесі рекурентного розрахунку, в першу чергу, визначаються часові показники завдань, які знаходяться ближче до початку побудованих шляхів, тобто вони перераховані й повторно будуть лише перевірятися (за умови відсутності змін у значеннях їх часових показників). Реалізацією такого підходу, певною мірою, забезпечується оптимізація роботи алгоритму.

За можливості такої зміни визначаються нові значення часових показників поточної змінної  $Task$ . Через внесення таких змін виникає необхідність повного перерахунку часових показників завдань плану підготовки операції на більш високому рівні ієрархії – рівні  $Task$ . Тому старше її завдання ( $Task.Parent$ ) віддається на рекурентний перерахунок у блок “*Організація пошарового розрахунку*”.

У разі успішного завершення роботи блоку його результат визначається *позитивним*. Результат роботи блоку визначається *негативним* у таких випадках за: неможливості зміни часових показників поточної змінної  $Task$ ; неможливості забезпечення сумарного значення мінімально допустимих інтервалів завдань на ділянках критичного шляху, розділених зафіксованими часовими показниками завдань. Водночас формується відповідне повідомлення про помилку і процес рекурентного перерахунку завершується.

Робота внутрішнього блоку “*Організація процесу обчислень, аналіз завдань, визначення та фіксація їх часових показників*” під час проведення розрахунків часових показників завдань некритичних шляхів організована, в основному, за аналогією з проведенням розрахунків завдань у критичному шляху. Основними відмінностями у роботі є такі:

окремі ділянки шляхів формуються не тільки зафіксованими часовими показниками завдань а й перерахованими завданнями;

формування часових показників завдань на цих ділянках здійснюється, в першу чергу, за рахунок можливого використання їхніх власних показників (в першу чергу часових резервів);

у подальшому, за неможливості коректного формування часових показників завдань на сформованих ділянках, здійснюється аналіз можливості використання часових резервів перерахованих завдань.

В іншому випадку робота внутрішнього блоку із завданнями некритичних шляхів повторює роботу із завданнями критичного шляху.

Як видно з наведеного, використання зазначених методів і підходів у запропонованому алгоритмі дало змогу: провести більш глибокий аналіз процесу розрахунку часових показників



завдань в ієрархічних структурах планів підготовки операцій, визначити та урахувати особливості процесу розрахунків й певні обмеження, визначити додаткові часові показники завдань і, тим самим, забезпечити автоматичний режим проведення вказаних розрахунків за умови коректності вихідних даних.

За неможливості вирішення проблемної ситуації в процесі проведення розрахунків, алгоритм забезпечує формування повідомлення користувачу про наявність такої ситуації і її місце в ієрархічній структурі плану.

Використання запропонованого алгоритму у відповідному програмному забезпеченні АСУВ забезпечить автоматичне проведення необхідних розрахунків часових показників завдань плану підготовки операції за лічені секунди, що у подальшому забезпечує можливість оперативного формування документів з організації роботи ОВУ під час підготовки і планування операції й своєчасного доведення визначених завдань до відповідальних виконавців.

### Висновки й перспективи подальших досліджень

У статті розроблено удосконалений алгоритм розрахунку значень часових показників в

ієрархічних структурах завдань планів підготовки операцій, який забезпечує проведення розрахунків часових показників завдань плану підготовки операції в автоматичному режимі на основі відсотків, що містяться у вибраному типовому плані, та після редагування плану й фіксації часових показників визначених користувачем завдань на основі раніше розрахованих їхніх значень.

Зазначене є подальшим розвитком теоретичних основ математичного апарату у галузі планування і управління проектами (планами) та може бути використаним під час розробки відповідного програмного забезпечення автоматизованих систем управління військами для підвищення ефективності інформаційно-аналітичної підтримки роботи службових осіб органів військового управління під час підготовки і планування операції.

У перспективі, подальшими дослідженнями можуть бути удосконалення запропонованого алгоритму з метою забезпечення можливості поширення його застосування на ієрархічні структури планів підготовки операцій, розроблених з використанням інших методів моделювання бізнес-процесів.

### Список бібліографічних посилань

1. Маслоук Л.А., Гавалко В.І., Колодяжний А.М., Дзигомон С.К. Інформаційно-аналітична підтримка організації роботи органів військового управління під час планування операції. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. 2023. Том 47. №2. С. 75–84. DOI: 10.33099/2311-7249/2023-47-2-75-84.  
2. Основні моделювання бойових дій військ: підручник / під ред. Пермякова О. Ю. Київ : НАОУ. 2005. С. 179–211.  
3. Метод критического пути: значение, примеры и преимущества. URL: <https://businessyield.com/ru/consutrcution-and-architecture/critical-path-method> (дата звернення: 27.12.2023).  
4. Pert и перт-моделирование. URL:

[https://project.dovidnyk.info/index.php/obschie-upravlenie-proektami/198-pert\\_i\\_rert\\_modelirovanie](https://project.dovidnyk.info/index.php/obschie-upravlenie-proektami/198-pert_i_rert_modelirovanie) (дата звернення: 27.12.2023).  
5. Структура розбиття робіт (Work Breakdown Structure – WBS). URL: <https://www.maxzosim.com/struktura-rozbittia-robot> (дата звернення: 27.12.2023).  
6. Стандарт НАТО АЖР-5: Доктрина об'єднаних сил НАТО щодо планування операції. Київ : НУОУ, 2019. 141 с.  
7. Порядок оперативного планування в органах військового управління НАТО: навч. посіб. / [А. М. Сиротенко, В. М. Тарасов, С. М. Салкуцан та ін.]. Київ : НУОУ, 2019. 232 с.

## IMPROVED ALGORITHM FOR CALCULATING THE VALUES OF TIME INDICATORS IN HIERARCHICAL STRUCTURES OF TASKS OF OPERATIONS PREPARATION PLANS

*Macliuk Leonid (Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher)*  
*Havalko Vasyl (Candidate of Technical Sciences, Associate Professor)*  
*Kolodiazhnyi Anatolii*  
*Dzhygomon Sergii*

*National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

**Formulation of the problem in general.** Important and responsible measures during the preparation and planning of the operation are the calculation of time and the formation of documents on the organization of the work of the military management body, which provide for the calculation of time indicators for the execution of the tasks of the operation preparation plan by officials and subordinate parts (subdivisions). The direct use of classical methods and algorithms in the field of planning and projects (plans) management to solve such tasks is impossible due to the specificity of the structure of such plans and certain limitations regarding the time indicators of their tasks. Taking into account the need to repeatedly carry out such calculations and ensure a high level of efficiency when performing these tasks in modern conditions of operation preparation, the purpose of the article is to develop an improved algorithm for calculating the time indicators of tasks of the operation preparation plan in automatic mode.

**Analysis of recent researches and publications.** An analysis of the possibility of using well-known classical methods and algorithms in the field of planning and project (plan) management (Critical path method, Program Evaluation and Review Technique, Work Breakdown Structure) showed that they mainly provide calculations only in single-level plans, in hierarchical structures evaluation and analysis is carried out with the involvement of experts and relevant specialists with the decomposition of plans into components and their successive layer-by-layer calculation. All methods and algorithms are not sensitive to certain time constraints and fixed values of the time indicators of the tasks of the plan. Because of this, the direct use of classical methods and algorithms for automatic calculation of the time indicators of the tasks of the operation preparation plan during operation planning is impossible.

**Research methods.** To achieve the goal, methods in the field of planning and projects (plans) management, BPMN business process modeling notations and recurrent methods were used. The specified methodological approach makes it possible to present typical plans and plans for the preparation of an operation in the form of complete hierarchical structures of tasks with the necessary detailing at each level by process diagrams, to analyze in more detail the process of calculating time indicators in structures of this type and to determine the features that must be taken into account in the developed algorithm.

**Presenting the main material.** The article proposes an improved recurrent algorithm for calculating the time indicators of the hierarchical structure of the tasks of the operation preparation plan, which ensures consistent, top-down, layer-by-layer calculations at each level of the hierarchy, taking into account the fixed values of the time indicators. When a problem situation arises at any level, an analysis of the possibilities of using the time reserves of the tasks of this level and the senior task of the plan is carried out. If possible, certain changes are made to the values of the time indicators of the specified tasks and, if necessary, a recurring recalculation is organized, starting from higher levels of the hierarchical structure of the plan's tasks, taking into account the changes made. The process of recurrent calculation continues until the time indicators of the plan's tasks are fully determined at all levels, or ends at a certain step when it is impossible to continue the calculations with the formation of a corresponding message regarding the existing problem.

**Elements of scientific novelty.** The improved algorithm for calculating the time indicators of the operation preparation plan tasks proposed in the article is a further development of classical methods in the field of planning and projects (plans) management.

**Practical significance of the article.** The use of the proposed algorithm in the development of appropriate special software as part of automated troop management systems will ensure a significant increase in the efficiency of information and analytical support for the work of officials during the preparation and planning of the operation.

**Conclusion and the perspectives of future researches.** In the future, further research may be to improve the proposed algorithm in order to ensure the possibility of its application to hierarchical structures of operations preparation plans developed using other business process modeling methods.

**Keywords:** military command body, operation preparation plan, hierarchical data structure, time calculation, time indicators of plan tasks.

## References

1. Maslyuk, L. A. Havalko, V. I. Kolodyazhnyi, A. M. Dzhygomon S. K., (2023). Informational and analytical support for the organization of the work of military administration bodies during operations planning. Modern information technologies in the sphere of security and defense. 47 (2), 75–84. DOI: 10.33099/2311-7249/2023-47-2-75-84.
2. Basics of modeling military operations: a textbook, (2005) / Ed. Permyakova O. Yu. Kyiv : NAOU, 179–211.
3. Critical path method: meaning, examples and advantage. [online]. Available at: <https://businessyeld.com/ru/consutration-and-architecture/critical-path-method> [Accessed: 27 December 2023].
4. Perth and rert modeling. [online]. Available at: [https://project.dovidnyk.info/index.php/obschie-upravlenie-proektami/198-pert\\_i\\_rert\\_modelirovanie](https://project.dovidnyk.info/index.php/obschie-upravlenie-proektami/198-pert_i_rert_modelirovanie) [Accessed: 27 December 2023].
5. Work Breakdown Structure (WBS) [online]. Available at: <https://www.maxzosim.com/struktura-rozbittia-robot> [Accessed: 27 December 2023].
6. NATO Standard AJP-5, (2019). NATO Joint Forces Doctrine for Planning Operations. NUOU. Kyiv.
7. The procedure for operational planning in NATO military command bodies, (2019). Training manual / [A. M. Syrotenko, V. M. Tarasov, S. M. Salkutsan, etc.]. NUOU. Kyiv.