

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
National University of shipbuilding named after admiral Makarov

Алоба Л.Т., Бабкін Г.В., Войтасик А.М.,
Клочков О.П., Сірівчук А.С., Трибулькевич В.В.

**ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ МОРСЬКОЇ
РОБОТОТЕХНІКИ**

Навчальний посібник
(Під редакцією д.т.н., проф. В.С. Блінцова)

Aloba L.T., Babkin G.V., Voytasik A.M.,
Klochkov O.P., Sirivchuk A.S., Trybuljkevych V.V.

**THEORETICAL BASIS OF DESIGNING
MARINE ROBOTICS**

Training Manual
(Edited by Prof. V.S. Blintsov, Doctor of Technical Sciences)

Mykolaiv♦NUS
2018

Миколаїв♦НУК
2018

Т-33 **Теоретичні** основи проектування морської робототехніки. / Алоба Л.Т., Бабкін Г.В., Войтасик А.М., Клочков О.П., Сірівчук А.С., Трибулькевич В.В. // Під редакцією д.т.н., проф. В.С. Блінцова – Миколаїв : НУК, 2018. – 83 с.

У навчальному посібнику розглянуто питання життєвого циклу процесу створення засобів морської робототехніки, моделювання розрахунків витрат на її створення та планування робіт проектів їх створення.

Навчальний посібник призначений для студентів, які навчаються за освітньо-професійною програмою «Морська робототехніка» зі спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» галузі знань 14 – «Електрична інженерія». Може бути корисним при підготовці розділів з техніко-економічного обґрунтування проектів створення засобів морської робототехніки.

Навчальний посібник може бути корисним для аспірантів і наукових співробітників, які проводять дослідження з автоматизації керування морськими рухомими об'єктами.

In the training manual, the issues of the marine robotics equipment creation process life cycle, the costs calculations modeling for their creation and their creation projects planning are addressed.

The training manual is intended for students studying under the educational-professional program "Marine Robotics" by specialty 141 – "Power engineering, Electrotechnics engineering and electromechanical engineering" in the field of knowledge 14 – "Electrical engineering".

It may be useful in the preparation of the projects feasibility study sections for marine robotics equipments creation.

The training manual can be useful for post graduate students and researchers conducting researches on the maritime mobile objects control automation.

The training manual can be useful for post graduate students and researchers conducting researches on the maritime mobile objects control automation.

УДК 681.5:629.584

© Алоба Л. Т., Бабкін Г.В., Войтасик А. М.,
Клочков О. П., Сірівчук А. С.,
Трибулькевич В.В., 2018
© Блінцов В. С., 2018
© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2018

ЗМІСТ

CONTENTS

1 Життєвий цикл створення засобів морської робототехніки (ЗМР).....	4	Creation life cycle of marine robotics equipment (MRE).....	4
2 Модель розрахунку витрат на створення засобів морської робототехніки	19	2 Costs calculation model for marine robotics tools creation	19
3 Моделювання вартості проектних робіт	42	3 Modeling the project work cost.....	42
4 Планування робіт проекту створення ЗМР	53	4 Planning of MRE creation project work.....	53
Список літератури	59	References.....	59
Додаток А Перелік подій, робіт та результатів розрахунку параметрів мережевого графа виконання ДКР	62	Appendix A List of events, works and results of network graph parameters calculation of EDW implementation.....	62
А.1 Перелік подій по мережевому графу виконання ДКР	62	A.1 List of events on the EDW implementation network graph.....	62
А.2 Перелік робіт по мережевому графу виконання ДКР	67	A.2 List of works on the EDW implementation network graph.....	67
Таблиця А.1 – Розрахунок параметрів часу робіт.....	75	Table A.1 – Calculation of work time parameters.....	75
Таблиця А.2 – Шляхи графа робіт по ескізного проектуванню	79	Table A.2 – Ways of work schedule on schematic design.....	79
Таблиця А.3 – Шляхи графа робіт по технічному проектуванню.....	81	Table A.3 – Ways of work schedule on schematic design.....	81
Таблиця А.4 – Шляхи графа розробки РКД виготовлення та попередніх випробувань дослідного зразка.....	81	Table A.4 – WDD development graph paths, manufacturing and preliminary tests of the prototype	81

1 ЖИТТЄВИЙ ЦИКЛ СТВОРЕННЯ ЗАСОБІВ МОРСЬКОЇ РОБОТОТЕХНІКИ (ЗМР)

1 CREATION LIFE CYCLE OF MARINE ROBOTICS EQUIPMENT (MRE)

Процеси проекту, що відносяться до продукту, утворюють життєвий цикл виробу (ЖЦВ), під яким розуміється розвиток даного продукту в часі, починаючи від задуму і закінчуючи його списанням [1–3].

Традиційний підхід до визначення ЖЦВ підприємств наукоємного виробництва ґрунтується на тому розумінні, що цей цикл формується з послідовних, зазвичай таких стадій продукту, що не перекриваються, які визначені потребами його створення і наступного використання.

Проект створення ЗМР приводить до появи унікального виробу. Не дивлячись на те, що в результатах проекту можуть бути присутні елементи, що повторюються, їх наявність не порушує принципової унікальності робіт по кожному виду виробів. Поточна операційна діяльність, як правило, є повторюваним процесом, з певними результатами, оскільки виконується відповідно до існуючих технологій. Внаслідок унікальності ЗМР допускається невизначеність відносно кожного виду виробу.

Проектна діяльність перетинається з операційною в різних точках часу протягом ЖЦВ, наприклад: у кожній проектній фазі, що завершується, на етапах розробки нового ЗМР, модернізації ЗМР або збільшенні випуску ЗМР, у процесах

Project processes relate to the product, form the life cycle of the product (LCP), which is understood as the development of this product in time, starting from the idea and ending with its write-off [1-3].

The traditional approach to LCP definition of high-tech production enterprises is based on the understanding that this cycle is formed from successive, usually non-overlapping, stages of the product defined by the needs for its creation and subsequent use.

The MRE creation project leads to the appearance of a unique product. Despite the fact that the project results may contain repetitive elements, their presence does not violate the fundamental uniqueness of operations on each type of product. Current operation activities are usually a recurring process, with definite results, because they are performed in accordance with existing technologies. Due to the uniqueness of the MRE, uncertainty is allowed with respect to each type of product.

Project activities intersect with the operating activities at different points in time during the life cycle, for example: in each project phase, it is completed at the stages of developing a new LCP, modernizing (upgrading) the LCP or increasing the LCP production, in the

вдосконалення операційної діяльності, а також до моменту часу завершення виробництва у кінці ЖЦВ. Обмін результатами та інформацією між проектною і операційною діяльністю здійснюється шляхом передачі ресурсів проекту в операційну діяльність у кінці проекту або через передачу операційних ресурсів проекту на його початку.

Для наукоємних проектів вимагається наявність вхідних даних від самого підприємства і ззовні. Результат виконання одного процесу стає початковою інформацією для іншого процесу. В основних методологіях проектного менеджменту життєвий цикл проекту розглядається як проміжок часу між формалізацією бізнес-ідеї і завершенням проекту. При цьому основи проектного управління містяться в описах процесів, пов'язаних з плануванням, оцінюванням і управлінням [4].

Особливості створення ЗМР найяскравіше проявляються в структурі їх життєвого циклу (ЖЦ), а саме у тривалості і вартості. При цьому значна частина загальних витрат протягом ЖЦ створення ЗМР складається з витрат на науково-дослідні (НДР) і дослідно-конструкторські роботи (ДКР). Необхідно враховувати, що витрати на НДР та ДКР протягом ЖЦВ нерівномірні. Найбільшу величину витрати мають на передвиробничих стадіях ЖЦВ, а по мірі освоєння серійного випуску та експлуатації виробу НДР і ДКР по ньому практично припиняються (за винятком наукового

process of improving operational activities, and by the time of completion of production at the end of MRE. The exchange of results and information between the project and operational activities is carried out by transferring project resources to operational activities at the end of the project or through the transfer of project operating resources at the beginning of the project.

For high-tech projects, the availability of the input data from the enterprise and from the outside is required. The result of running one process becomes the source of information for another process. In the main project management methodologies, the life cycle of a project is considered as a period between the formalization of the business idea and the completion of the project. At the same time, the basics of the project management are contained in the descriptions of the processes associated with planning, evaluation and management [4].

The MRE creation peculiarities are clearly manifested in the structure of their life cycle (LC), namely in duration and cost. At the same time, a significant part of total expenditures during the MRE creation LC consists of research and development work (RDW) and experimental design work (EDW) expenditures. It must be taken into account that the costs of RDW and EDW during the LCP are uneven. The LCP pre-production stages have the highest amount of expenditure and as well as the development of serial production and operation of the product RDW and EDW on it are practically stopped (with the exception of the scientific support of

супроводження виробництва й експлуатації, модернізації виробів тощо). Крім того, підприємство може випускати декілька найменувань ЗМР, і частина витрат на НДР та ДКР може носити загальний характер (тобто проводитися на користь декількох типів ЗМР), що породжує задачу розподілу витрат між різними видами ЗМР.

Послідовність етапів ЖЦ ЗМР як продукції наукоємного виробництва представлена на рис. 1.

production and operation, product upgrades, etc.). In addition, an enterprise can produce several types of MRE, and part of the costs of research and development can be generic in nature (that is, be carried out in favor of several types of MRE), which creates the task of allocating costs between different types of MRE.

The stages sequence of the MRE LC as high-tech production products is presented in Fig. 1.

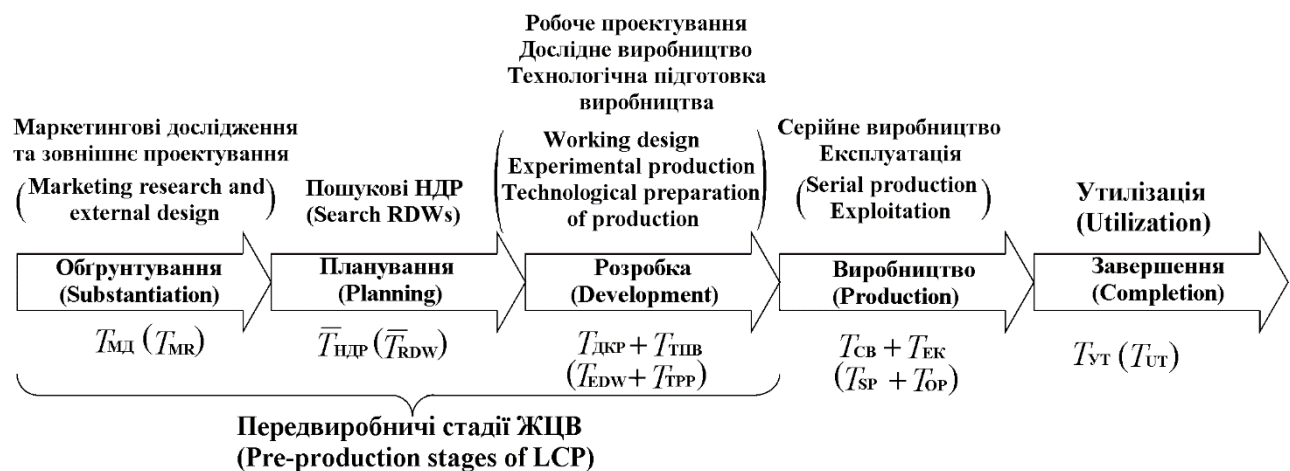


Рисунок 1 – Етапи життєвого циклу ЗМР
Figure 1 – The life cycle stages of MRE

На рис. 1 ЖЦ ЗМР починається з маркетингових досліджень та обґрунтування проектування виробу. На цьому етапі ще не формується конструкція ЗМР, лише визначаються його орієнтовні техніко-економічні характеристики, які задовольняють замовника. Далі в ході виконання НДР та ДКР визначаються принципова можливість створення ЗМР і конкретні шляхи досягнення цієї мети. При цьому етапи ЖЦ ЗМР можуть мати перекриття. Це означає, що в період експлуатації окремого ЗМР може тривати його

In fig. 1 MRE LC begins with marketing research and product design substantiation (rationale). At this stage, the design of the MRE is not formed, only its approximate technical and economic characteristics, which satisfy the customer, are determined. Further, in the course of carrying out RDW and EDW, the principal possibility of creating an MRE and the specific ways of achieving this goal are determined. In this stage, the MRE LC may have overlaps. This means that during the operation of a separate MRE, its mass

серійне виробництво. Крім того, виробництво може тривати навіть тоді, коли частина ЗМР цього типу виведена з експлуатації і утилізована.

Згідно з поширеною класифікацією науково-дослідних робіт, фундаментальні НДР, які є невід'ємною частиною створення ЗМР, спрямовані на створення нових матеріалів, законів управління тощо. Як правило, вони характеризуються значною тривалістю. Тому фундаментальні дослідження ніяк не пов'язані з ЖЦ ЗМР і їх тривалість та вартість не включаються до тривалості і вартості ЖЦВ. Досягнення замовлених параметрів ЗМР визначається в ході пошукових НДР, коли на базі існуючих фундаментальних наукових знань отримують конкретні конструкторські і технологічні рішення. На їх основі починаються дослідно-конструкторські роботи і технологічна підготовка виробництва (ТПВ). Якщо отримати необхідні характеристики при сучасному розвитку науки і техніки неможливо, то доводиться повертатися до етапу маркетингових досліджень і обґрунтування проектування (а також ставити нові завдання перед фундаментальною наукою). Таким чином, показана на рис. 1 лінійна структура ЖЦ має спрощений вигляд. У повному вигляді ЖЦ ЗМР буде мати етапи, що повторюються. Виходячи з цього, можна сказати, що процеси створення ЗМР мають ітеративний життєвий цикл.

Етап пошукових НДР є найбільш невизначеним, тому можна говорити лише про очікувану тривалість НДР –

production can last. In addition, production can continue even when part of the MRE of this type is taken out of operation and utilization.

According to the widespread classification of research works, fundamental research and development, which are an integral part of the creation of the MRE, are aimed at creating new materials, management laws, etc. As a rule, they are characterized by a long duration. Therefore, the basic research is not related to the MRE LC and their duration and cost are not included in the duration and value of the LCP. The achievements of the ordered MRE parameters are determined in the course of exploratory research, when specific design and technological solutions are obtained on the basis of the existing fundamental scientific knowledge. On their basis, the experimental and development works (EDW) and technological preparation of production (TPP) begin. If it is impossible to obtain the necessary characteristics in the modern development of science and technology, then it is necessary to return to the marketing research stage and design substantiation (as well as set new tasks to basic science). Thus, the linear structure of the LC has the simplified view as shown in Fig. 1. In full form, the MRE LC will have repeated stages. On this basis, it can be said that the processes of creating the MRE have an iterative life cycle.

The search RDWs stage is the most uncertain, therefore one can speak only about the expected duration of the

$\bar{T}_{\text{НДР}}$. У той же час тривалості дослідно-конструкторських робіт $T_{\text{ДКР}}$ і технологічної підготовки виробництва $T_{\text{ТПВ}}$ є найбільш прогнозованими, але схильними до ризику збільшення терміну. НДР та ДКР характеризуються не тільки значною частиною загальних витрат, а і значною тривалістю, оскільки створення ЗМР тісно пов'язане з багатьма наукоємними галузями, наприклад, електронною промисловістю, індустрією програмного забезпечення та ін.

На підставі виконаних проєктів та досвіду автора можна стверджувати, що тривалість НДР може складати

$$\bar{T}_{\text{НДР}} = 60 \dots 120 \text{ днів},$$

залежно від типу створюваного ЗМР. При цьому загальна трудомісткість робіт НДР буде складати

$$\bar{O}_{\text{НДР}} = 4800 \dots 10400 \text{ нормо/годин.}$$

Тривалість дослідно-конструкторських робіт складає

$$T_{\text{ДКР}} = 160 \dots 200 \text{ днів},$$

загальна трудомісткість робіт ДКР буде складати

$$O_{\text{ДКР}} = 92000 \text{ нормо/годин.}$$

Тривалість технологічної підготовки виробництва

RDW – $\bar{T}_{\text{RDW}}$. At the same time, the duration of experimental and development works T_{EDW} and technological preparation of production T_{TPP} are the most predictable, but prone to the risk of extending the duration. RDWs and EDWs are characterized not only by a significant proportion of the total costs, but also by considerable duration, since the creation of the MRE is closely linked to many high-tech production sectors, such as the electronic industry, software industry, etc.

Based on the completed projects and the author's experience, it can be affirmed that the duration of the RDWs can constitute

$$\bar{T}_{\text{RDW}} = 60 \dots 120 \text{ days},$$

depending on the type of created MRE. At the same time, the RDW total work complexity will be

$$\bar{O}_{\text{RDW}} = 4800 \dots 10400 \text{ rate/hour}$$

The duration of experimental and development work is

$$T_{\text{EDW}} = 160 \dots 200 \text{ days},$$

the EDW total work complexity will be

$$O_{\text{EDW}} = 92000 \text{ rate/hour.}$$

Duration of the technological preparation of production

$$T_{\text{ТПВ}} = 60 \text{ днів},$$

загальна трудомісткість робіт

$$O_{\text{ТПВ}} = 1500 \text{ нормо/годин.}$$

Оскільки ЗМР є специфічним виробом з обмеженим переліком потенційних користувачів, маркетингові дослідження мають незначну тривалість і складають

$$T_{\text{МД}} = 20 \text{ днів},$$

при цьому, частіше за все, ініціатором етапу є потенційний замовник ЗМР, а загальна трудомісткість робіт ТПВ буде складати

$$O_{\text{МД}} = 160 \text{ нормо/годин.}$$

Оскільки серійне виробництво ЗМР в Україні обмежувалось виготовленням трьох зразків кожного типу, що належить до малосерійного виробництва, важко зробити висновки про оптимальність терміну виготовлення та експлуатації ЗМР. З досвіду автора відомо, що тривалість виробництва дослідного зразка ЗМР складає

$$T_{\text{СВ}} = 120 \text{ днів},$$

при цьому загальна трудомісткість робіт СВ буде складати

$$O_{\text{СВ}} = 5500 \text{ нормо/годин.}$$

$$T_{\text{ТПП}} = 60 \text{ days},$$

total work complexity

$$O_{\text{ТПП}} = 1500 \text{ rate/hour.}$$

Since MRE is a specific product with a limited list of potential users, marketing research has a negligible duration and it constitutes:

$$T_{\text{MR}} = 20 \text{ days},$$

at the same time, most likely, the state initiator is a potential MRE customer, and the TPPs total work complexity constitutes

$$O_{\text{MR}} = 160 \text{ rate/hour.}$$

Since the MRE serial production in Ukraine was limited to the manufacture of three samples of each type, which belongs to small-scale production, it is difficult to draw conclusions about the optimality of the period of manufacture and operation of the MRE. From the author's experience it is known that the production duration of the MRE prototype is

$$T_{\text{SP}} = 120 \text{ days},$$

thus the SP total work complexity constitutes

$$O_{\text{SP}} = 5500 \text{ rate/hour.}$$

Загальний термін експлуатації ЗМР, зазвичай, складає 10 років. Але у зв'язку з тим, що ЗМР постійно модернізується для виконання нових унікальних типів підводно-технічних робіт, виконуються профілактичні та капітальні ремонти його обладнання, відповідно термін експлуатації ЗМР постійно збільшується. Так, наприклад, термін експлуатації ЗМР «Атлеш», що створено у НУК, складає 20 років. Іншими словами, тривалість експлуатації ЗМР складає

$$T_{EK} = 4960 \text{ днів},$$

при цьому загальна трудомісткість робіт ЕК складає

$$O_{EK} = 36680 \text{ нормо/годин.}$$

Етап утилізації є одним з найкоротших, його загальна тривалість складає

$$T_{UT} = 60 \text{ днів},$$

при цьому загальна трудомісткість робіт УТ становить

$$O_{UT} = 1500 \text{ нормо/годин.}$$

Таким чином, загальна тривалість життєвого циклу ЗМР буде мати вигляд

$$T_{ЖЦВ} = T_{MD} + \bar{T}_{HDP} + T_{DKP} + \\ + T_{TPB} + T_{CB} + T_{EK} + T_{UT},$$

і буде складати

The total MRE operation period is usually 10 years. But due to the fact that the MRE is constantly modernized for the implementation of new unique types of underwater technical works performing the maintenance and capital repairs of its equipment respectively, the MRE operation period is constantly increasing. So, for example, the MRE "Atlesh operation period ", which was created in the NUS, is 20 years. In other words, the MRE operational time is

$$T_{OP} = 4960 \text{ days},$$

thus the OP total work complexity is

$$O_{OP} = 36680 \text{ rate/hour.}$$

The utilization stage is one of the shortest, its total time constitutes

$$T_{UT} = 60 \text{ days},$$

thus the UT total work complexity is

$$O_{UT} = 1500 \text{ rate/hour.}$$

Thus, the MRE life cycle overall duration will have the form

$$T_{LCP} = T_{MR} + \bar{T}_{RDW} + T_{EDW} + \\ + T_{TPP} + T_{SP} + T_{OP} + T_{UT},$$

and will constitute

$$T_{\text{ЖЦВ}} = 5440 \dots 5500 \text{ днів}$$

При цьому загальна
трудомісткість робіт

$$O_{\text{ЖЦВ}} = 142140 \dots 147740 \text{ нормо/годин.}$$

Життєвий цикл проекту створення ЗМР, зміст якого спрямований на створення і наступне супроводження виробу протягом його життєвого циклу, поділяється на проектні фази. При цьому різні проектні фази ЖЦП можуть виконуватися одночасно [4]. Нині не існує універсального підходу до формування ідеальної структури проекту. Аналізуючи особливості формування етапів ЖЦВ і раціональні відповідності з етапами ЖЦП, можна сформулювати фази проекту створення ЗМР.

Структура фаз проекту створення ЗМР формується на основі прийнятого методу реалізації проекту і пов'язана з його обмеженнями. Кожен етап проекту ініціюється визначенням вимог і очікуваних результатів, а також оцінюється актуальність його виконання, уточнюються раніше прийняті припущення, переглядаються ідентифіковані ризики і деталізується зміст процесів. Кожен етап проекту завершується аналізом і прийманням отриманих результатів, виявленням і виправленням помилок, оцінюванням завершеності досягнутих результатів і відповідності їх вимогам.

Таким чином, завершення кожного етапу проекту вважається контрольною віхою для оцінювання

$$T_{\text{LCP}} = 5440 \dots 5500 \text{ days.}$$

Thus the total work complexity is

$$O_{\text{LCP}} = 142140 \dots 147740 \text{ rate/hour.}$$

The project life cycle (PLC) of the MRE creation, the content of which is aimed at the creation and subsequent support of the product during its life cycle, is divided into project phases. At the same time, different project phases of PLC can be performed simultaneously [4]. Currently, there is no universal approach to the formation of an ideal project structure. By analyzing the peculiarities of the LCP stages formation and rational correspondence with the PLC stages, it is possible to form the project phases of the MRE creation.

The structure of MRE creation project phases is formed on the basis of the accepted method of project implementation and is related to its limitations. Each project stage is initiated by defining the requirements and expected results, as well as assessing the relevance of its implementation, specifying the assumptions that have been adopted previously, reviewing the identified risks, and detailing the content of the processes. Each project stage is completed by the analysis and acceptance of the received results, identification and correction of errors, evaluation of the completeness of the achieved results and the compliance with their requirements.

Thus, the completion of each phase of the project is considered a control

результатів, за підсумками яких приймається рішення про початок наступного етапу, або може прийматися рішення про зміни чи дострокове завершення усього проекту.

При формуванні структури етапів життєвого циклу проекту створення ЗМР необхідно визначати ці етапи відповідно до етапів життєвого циклу самих ЗМР.

Для переходу до наступного етапу повинні бути виконані наступні дії:

- підготовка матеріалів, які передбачені етапом, до контрольної події:

- 1) документування результатів, отриманих у ході виконання поточного етапу проекту;

- 2) розробка детального плану і бюджету наступного етапу проекту, з урахуванням можливості негативних результатів проходження контрольної події;

- проведення захисту матеріалів, які передбачені етапом:

- 1) координатором проекту призначається попередня експертиза документів, за результатами якої готується попередній висновок;

- 2) координатор проекту призначає склад експертної ради, а дирекція проекту організовує проведення захисту документів;

- 3) експертна рада приймає рішення про готовність дирекції проекту до переходу на наступний етап;

- за результатами захисту ухвалюється рішення про продовження або завершення проекту:

landmark for evaluating the results, the outcome of which is a decision to start the next phase, or a decision on changes or early completion of the entire project may be taken.

When forming the life cycle stages structure of the MRE creation project, it is necessary to determine these stages in accordance with the stages of the very MRE cycle.

To proceed to the next stage, the following actions must be performed:

- preparation of the materials provided by the stage for the control event:

- 1) documentation of the results obtained during the implementation of the project current phase;

- 2) development of a detailed plan and budget of the next stage of the project, taking into account the possibility of negative results from the control event;

- carrying out protection of the materials provided by the stage

- 1) a preliminary documents expert is appointed as the project coordinator, based on the results of which a preliminary conclusion is prepared;

- 2) the project coordinator appoints the composition of the expert council (panel), and the project management organizes the protection of documents;

- 3) the expert council decides on the readiness of the project directorate for the transition to the next stage;

- based on the results of the protection decision, a decision is made on the continuation or completion of the project:

1) продовжити проект – затверджується бюджет і план наступного етапу проекту, приймається рішення про УП;

2) припинити проект – виконуються процеси, спрямовані на призупинення проекту;

3) завершити проект – виконуються процеси, спрямовані на дострокове завершення проекту;

– документ з рішенням про проходження контрольної події.

Роботи по реалізації проекту ЗМР можна поділити на наступні фази (рис. 2):

– концептуальна;
– розробка комерційної пропозиції;– проектування;
– виготовлення;
– здача об'єкта і завершення проекту.

1) to continue the project – the budget and the plan of the next stage of the project are approved, the decision on PM is made;

2) to terminate the project – the processes aimed at suspending the project are carried out;

3) to complete the project – the processes aimed at the early completion of the project are carried out;

– a document with the decision about the passage of control checks.

Work on the MRE project implementation can be divided into the following phases (Fig. 2):

– conceptual;
– development of commercial proposes;– design;
– manufacturing;
– object delivery and project completion.

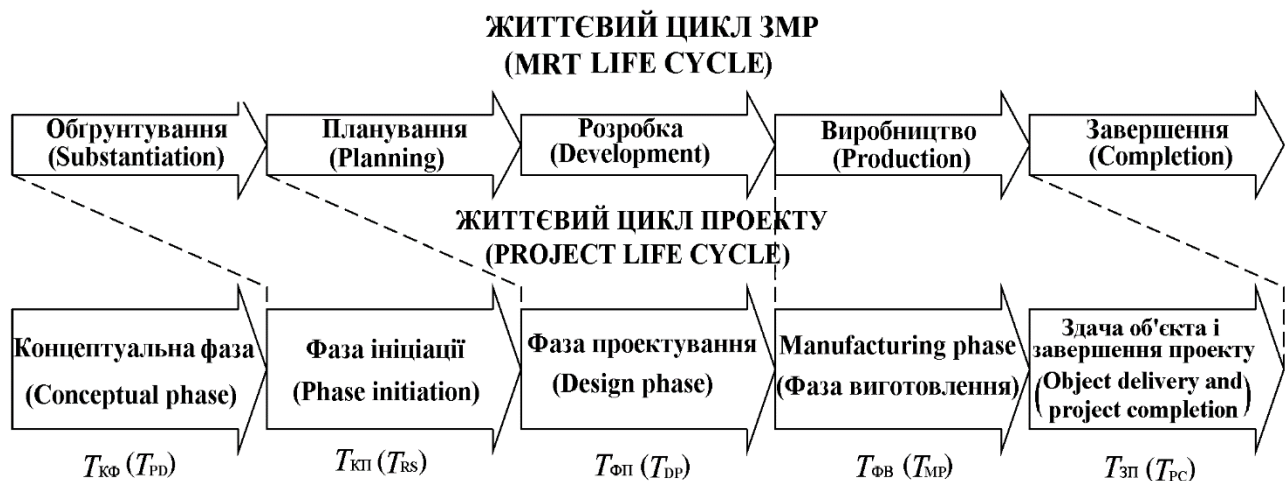


Рисунок 2 – Схема життєвого циклу проекту створення ЗМР

Figure 2 – Scheme of the MRE creation project life cycle

1.1 Концептуальна фаза проекту створення ЗМР. Головним змістом робіт проекту створення ЗМР на цій фазі є розробка його концепції, яка включає в себе:

1.1 The MRE creation project conceptual phase. The main content of the MRE project work at this phase is the development of its concept, which includes:

- формування бізнес-ідеї, постановку цілей;
- призначення керівника проекту і формування ключової команди проекту;
- встановлення ділових контактів і вивчення ринку, мотивації і вимог замовника та інших учасників;
- збір початкових даних і аналіз існуючого стану;
- визначення основних вимог, обмежувальних умов, необхідних матеріальних, фінансових і трудових ресурсів;
- порівняльну оцінку альтернатив;
- подання пропозицій, їх експертизу і затвердження.

Тривалість фази $T_{\text{кф}}$ у загальному вигляді визначається призначенням ЗМР, умовами його використання та вимогами, що висуваються замовником. Тривалість фази може складати

$$T_{\text{кф}} = 20 \text{ днів.}$$

1.2 Фаза ініціації. Головним змістом цієї фази є розробка пропозицій і переговори із замовником про укладення контракту. Загальним змістом робіт цієї фази є:

- розробка основного змісту проекту, кінцеві результати і продукти, стандарти якості, базова структура проекту, складання технічного завдання;
- планування, декомпозиція базової структурної моделі проекту, кошторис і бюджет проекту, потреба в

- formation of business ideas, setting goals;
- the appointment of a project manager and the formation of a key project team;
- establishment of business contacts and market research, motivation and requirements of the customer and other participants;
- collection of initial data and analysis of the current state;
- definition of the basic requirements limiting the conditions necessary for material, financial and labor resources;
- comparative evaluation of alternatives;
- submission of proposals, their expertise and approval.

The phase duration T_{CP} in general is determined by the MRE designation, the conditions of its use and the requirements put forward by the customer. The phase duration can be

$$T_{\text{CP}} = 20 \text{ days.}$$

1.2 Initiation Phase. The main content of this phase is the development of proposals and negotiations with the customer to conclude a contract. The general operations contents of this phase are:

- development of the main content of the project, end results and products, quality standards, the basic structure of the project, drafting of requirement specification;
- planning, decomposition of the basic structural model of the project, estimates and project budget, the

ресурсах, визначення і розподіл ризиків, календарні плани і збільшені графіки робіт;

- проведення і складання техніко-економічного обґрунтування і бізнес-плану;

- підписання контрактів, договорів із замовником, контрагентами та інвесторами;

- введення в дію засобів комунікації учасників проекту і контролю за ходом робіт;

- введення в дію системи стимулювання команди проекту.

Тривалість фази $T_{\Phi I}$ збігається з тривалістю етапу обґрунтування T_{MD} життєвого циклу ЗМР та складає

$$T_{\Phi I} = T_{MD} = 20 \text{ днів.}$$

1.3 Фаза проектування. На цій фазі визначаються підсистеми, їх взаємозв'язки, вибираються найбільш ефективні способи виконання проекту і використання ресурсів. Характерні роботи цієї фази:

- організація виконання базових проектних робіт за проектом, розробка технічних завдань;

- виконання ескізного технічного і робочого проектування;

- складання технічних специфікацій, комплектів креслень та інструкцій;

- подання проектної розробки, експертиза і затвердження.

Тривалість фази $T_{\Phi II}$ є найбільш складною з точки зору прогнозування, оскільки в ході її реалізації

resource requirements, risk identification and allocation, calendar plans and increased work schedules;

- conducting and drawing up feasibility study and business plan;

- signing of contracts, agreements with the customer, contractors and investors;

- putting into operation the project participants communication facilities and monitoring the works progress;

- implementation of the project team incentive system

The phase duration T_{IP} coincides with the substantiation stage duration T_{MR} of the MRE life cycle and equals

$$T_{IP} = T_{MR} = 20 \text{ days.}$$

1.3 Design phase. At this phase, the subsystems, their interconnections are determined, the most effective ways of project implementation and resources utilization are selected. Characteristic works (operations) of this phase:

- organization of implementation of basic project work on the project, development of technical specifications;

- performance of sketch technical and working design

- compilation of technical specifications, sets of drawings and instructions;

- project design presentation, examination and approval.

The phase duration T_{DP} is the most difficult in terms of forecasting, because in the course of its implementation,

виконуються роботи, пов'язані з виконанням пошукових НДР, ДКР та ТПВ:

$$T_{\text{ФП}} = \bar{T}_{\text{НДР}} + T_{\text{ДКР}} + T_{\text{ТПВ}} = \\ = 280...340 \text{ днів.}$$

1.4 Фаза виготовлення. Виробляється координація і оперативний контроль робіт за проектом створення ЗМР, виготовлення підсистем, їх об'єднання і тестування. Основний зміст робіт цієї фази:

- організація виконання будівельних робіт та їх оперативне планування;
- організація і управління матеріально-технічним забезпеченням робіт;
- підготовка виробництва, будівельно-монтажних і пуско-налагоджувальних робіт;
- координація робіт, оперативний контроль і регулювання основних показників проекту.

Тривалість фази виготовлення $T_{\text{ФВ}}$ визначається терміном підготовки виробництва та загальною кількістю ЗМР, що виготовляються

$$T_{\text{ФВ}} = T_{\text{СВ}} = 120 \text{ днів.}$$

1.5 Фаза здачі об'єкта і завершення проекту. Виробляються комплексні пусконалагоджувальні роботи і випробування, дослідна експлуатація системи, ведуться переговори про результати виконання

operations related to the performance of search RDWs, EDWs and TPPs are carried out:

$$T_{\text{ДР}} = \bar{T}_{\text{RDW}} + T_{\text{EDW}} + T_{\text{ТПП}} = \\ = 280...340 \text{ days.}$$

1.4 Manufacturing phase. The coordination and operational work management on the creation project of MRE, manufacturing of subsystems, their integration and testing are carried out. Main operations content of this phase:

- organization of construction work and their operational planning;
- organization and management of material and technical provision of works;
- preparation of production, construction-and-assembling and pre-commissioning operations;
- works coordination, operational (operations) management and regulation of the main project indicators.

The duration of the manufacturing phase is T_{MP} determined by the period of pre-production and the total number of the MRE produced:

$$T_{\text{MP}} = T_{\text{SP}} = 120 \text{ days.}$$

1.5 Phase of the object delivery and project completion. Comprehensive commissioning and testing, trial operation of the system are being carried out, negotiations are held on the results of the project and possible new

проекту і можливі нові контракти. Основні види робіт:

- комплексні випробування;
- підготовка кадрів для експлуатації створюваного об'єкта;
- підготовка експлуатаційної документації, здача об'єкта замовникові і введення в експлуатацію;
- супровід, підтримка, сервісне обслуговування;
- оцінка результатів проекту і підготовка підсумкових документів;
- розв'язання конфліктних ситуацій і закриття робіт за проектом;
- реалізація ресурсів, що залишилися;
- створення бази даних для наступних проектів, аналіз досвіду, визначення напрямів подальшого розвитку;
- при необхідності – розформування команди проекту.

Тривалість фази $T_{\text{ЗП}}$ залежить від загальної кількості виготовлюваних ЗМР, їх характеристик, що впливають на обсяг випробувань, та загального терміну експлуатації виготовлених ЗМР:

$$T_{\text{ЗП}} = T_{\text{ЕК}} = 4960 \text{ днів.}$$

Таким чином, загальна тривалість життєвого циклу проекту створення ЗМР буде мати вигляд

$$T_{\text{ЖЦП}} = T_{\text{КФ}} + T_{\text{КП}} + T_{\text{ФП}} + T_{\text{ФВ}} + T_{\text{ЗП}}$$

і буде складати

$$T_{\text{ЖЦП}} = 5400...5460 \text{ днів.}$$

contracts are underway. The main types of work:

- complex tests;
- training of personnel for exploitation of the created object;
- preparation of working documentation, delivery of the object to the customer and commissioning;
- maintenance, support, service;
- evaluation of project results and preparation of final documents;
- conflict resolution and project work closure;
- implementation of remaining resources;
- creation of a database for subsequent projects, analysis of experience, identifying directions for further development;
- if necessary, disband the project team.

The phase duration T_{PC} depends on the total number of MRE produced, their characteristics affecting the amount of testing, and the operation period of the MRE produced:

$$T_{\text{PC}} = T_{\text{OP}} = 4960 \text{ days.}$$

Thus, the overall duration of MRE project creation life cycle will be of the form

$$T_{\text{LCP}} = T_{\text{PD}} + T_{\text{RS}} + T_{\text{DP}} + T_{\text{MP}} + T_{\text{PC}}$$

and will constitute

$$T_{\text{LCP}} = 5400...5460 \text{ днів.}$$

Другу і частково третю фази прийнято називати фазами системного проектування, а останні дві – фазами реалізації. Останні три фази можуть виконуватися в послідовно-паралельній схемі.

Початкові фази проекту визначають велику частину його результату, оскільки в них приймаються основні рішення, що вимагають нетрадиційних методів і засобів УП. При цьому 30 % вкладу в кінцевий результат проекту вносять фази концепції і пропозиції, 20 % – фаза проектування, 20 % – фаза виготовлення, 30 % – фаза здачі об'єкта і завершення проекту.

The second and partially the third phases are called the system design phases, and the last two are the implementation phases. The last three phases can be performed in a series-parallel scheme.

The initial phases of the project determine most of its result, since they make major decisions that require unconventional (innovative) methods and PM tools. At the same time, 30% of the contribution to the final result of the project is made by the concept and proposal phases, 20% – the design phase, 20% – the manufacturing phase, 30% – the phase of commissioning and completion of the project.

2 МОДЕЛЬ РОЗРАХУНКУ ВИТРАТ НА СТВОРЕННЯ ЗАСОБІВ МОРСЬКОЇ РОБОТОТЕХНІКИ

2 COSTS CALCULATION MODEL FOR MARINE ROBOTICS TOOLS CREATION

Відомо, що в основу проекту входить цілий набір структурних моделей, які широко використовуються на всіх фазах і етапах життєвого циклу проекту для вирішення різних завдань, пов'язаних з керуванням проектом. Найбільш істотними з них є:

- організаційна структура проекту, що визначає ієрархічну структуру виконавців проекту;
- дерево вартості – визначає модель витрат на проект;
- дерево ресурсів – визначальна модель контрактів проекту;
- дерево ризиків – модель ризиків проекту;
- дерево відповідальності – визначальна модель розподілу відповідальності між учасниками проекту;
- дерево цілей – визначає схему і структурну модель робіт проекту.

Першим кроком розробки структурної схеми робіт є визначення структурного складу ЗМР. Відповідно до загальних правил декомпозиції проекту, виконуємо його розбиття на структурні елементи, менші за розмірами і більш керовані.

It is known that the project basis is a set of structural models that are widely used in all phases and stages of the project life cycle for solving various tasks related to project management. The most significant of them are:

- organizational structure of the project, which determines the hierarchical structure of the project implementers;
- value tree defines the model cost of the project;
- resource tree is the defining (key) model of project contracts;
- risk tree defines the project risk model;
- responsibility (accountability) tree is the defining model of the responsibility distribution among the project participants;
- objective (goals) tree – defines the scheme and structural model of the project.

The first step in developing a structural scheme of work is to determine the MRE structural composition. In accordance with the general rules of the project decomposition, we perform its division into structural elements, smaller in size and more manageable.

Таблиця 1 – Розподіл робіт, пов'язаних зі створенням ЗМР, по етапах життєвих циклів
 Table 1 – (Distribution of work, related to the MRE creation, in stages of life cycles)

Етапи життєвого циклу (Stages of Life cycle)	ЖЦВ (LCP)		$T_{\text{МД}}$ (T_{MR})	$\bar{T}_{\text{НДР}}$ ($\bar{T}_{\text{RDW}}$)	$T_{\text{ДКР}} + T_{\text{ТПВ}}$ ($T_{\text{EDW}} + T_{\text{TRP}}$)	$T_{\text{СВ}} + T_{\text{ЕК}}$ ($T_{\text{SP}} + T_{\text{OP}}$)	$T_{\text{УТ}}$ (T_{UT})
	ЖЦП (PLC)	$T_{\text{КФ}} (T_{\text{PD}})$	$T_{\text{КП}} (T_{\text{P}})$	$T_{\text{ФП}} (T_{\text{DP}})$	$T_{\text{ФВ}} (T_{\text{MP}})$	$T_{\text{ЗП}} (T_{\text{PC}})$	
Роботи проекту (Project work)							
Управління змістом проекту (Project content management)		$W_{\text{ЗП1}}$ (W_{PC1})	$W_{\text{ЗП2}}$ (W_{PC2})		$W_{\text{ЗП3}}$ (W_{PC3})		
Створення підводного апарата (Underwater vehicles creation)			$W_{\text{ПА1}}$ (W_{ROV1})		$W_{\text{ПА2}}$ (W_{ROV2})	$W_{\text{ПА3}}$ (W_{ROV3})	$W_{\text{ПА4}}$ (W_{ROV4})
Створення кабельної лебідки (Cable winch creation)			$W_{\text{КП1}}$ (W_{CW1})		$W_{\text{КЛ2}}$ (W_{CW2})	$W_{\text{КЛ3}}$ (W_{CW3})	$W_{\text{КЛ4}}$ (W_{CW4})
Створення системи керування (Control system creation)			$W_{\text{СК1}}$ (W_{CS1})	$W_{\text{СК2}}$ (W_{CS2})	$W_{\text{СК3}}$ (W_{CS3})	$W_{\text{СК4}}$ (W_{CS4})	$W_{\text{СК5}}$ (W_{CS5})
Створення навісного обладнання (Creation of attached equipment)			$W_{\text{НО1}}$ (W_{AE1})		$W_{\text{НО2}}$ (W_{AE2})	$W_{\text{НО3}}$ (W_{AE3})	$W_{\text{НО4}}$ (W_{AE4})
Створення інженерних систем (Creation of engineering systems)			$W_{\text{ІС1}}$ (W_{ES1})	$W_{\text{ІС2}}$ (W_{ES2})	$W_{\text{ІС3}}$ (W_{ES3})	$W_{\text{ІС4}}$ (W_{ES4})	$W_{\text{ІС5}}$ (W_{ES5})

Основою для побудови структурної моделі проекту створення ЗМР є результати попередніх досліджень й аналізу. На початковому етапі проекту, на основі вихідного завдання по створенню ЗМР, розробляємо й обґрунтовуємо технологію його застосування. За результатами світової практики проектування, побудови й експлуатації ЗМР виконується опис та обґрунтування типорозмірних рядів підводної техніки, що надалі, з урахуванням розробленої технології, лягає в основу розробки й обґрунтування архітектурно-конструктивного типу компонентів ЗМР.

Відповідно до загальних правил декомпозиції дерево цілей структурної моделі проекту створення ЗМР має вигляд, наведений на рис. 3.

Наведене дерево на прикладі кабельної лебідки ілюструє одну з гілок проекту створення ЗМР. Подібним чином виконується декомпозиція кожного структурного елемента ЗМР та всіх агрегатів і вузлів. Метою такої декомпозиції є визначення повного обсягу кожної роботи проекту.

Створення ЗМР являє собою сукупність конструкторських і виробничих підрозділів, зайнятих аналізом потреби й технічного стану таких комплексів, наглядом за їхнім станом, технічним обслуговуванням, ремонтом і розробкою заходів щодо заміни зношеного обладнання на більш прогресивне. Виконання цих робіт має бути організоване з мінімальними

The basis for constructing a MRE project structural model is the results of previous studies and analysis. At the project initial stage, on the basis of the initial task of creating the MRE, we develop and substantiate the technology of its application. According to the world design practice, construction and operation of MRE, the description and substantiation of standard sizes of underwater equipment is carried out, which in the future, taking into account the developed technology, forms the basis for the development and substantiation of the architectural and constructive type of MRE components.

In accordance with the general decomposition rules, the objectives tree of the project structural model for the establishment of the MRE has the form shown in Fig. 3.

The given tree by the example of a cable winch illustrates one of the branches of the MRE creation project. Similarly, the decomposition of each MRE structural element and all aggregates and nodes is performed. The purpose of this decomposition is to determine the full scope of each project.

MRE creation is the totality of design and production units, engaged in analyzing the needs and technical condition of such complexes, monitoring their condition, maintenance, repair and development of measures to replace worn-out equipment with more advanced ones. Performance of these works should be organized

простоями устаткування, у максимально короткий термін, якісно і з мінімальними витратами.

with minimal equipment downtime, in the shortest possible time, qualitatively and with minimal expenses.

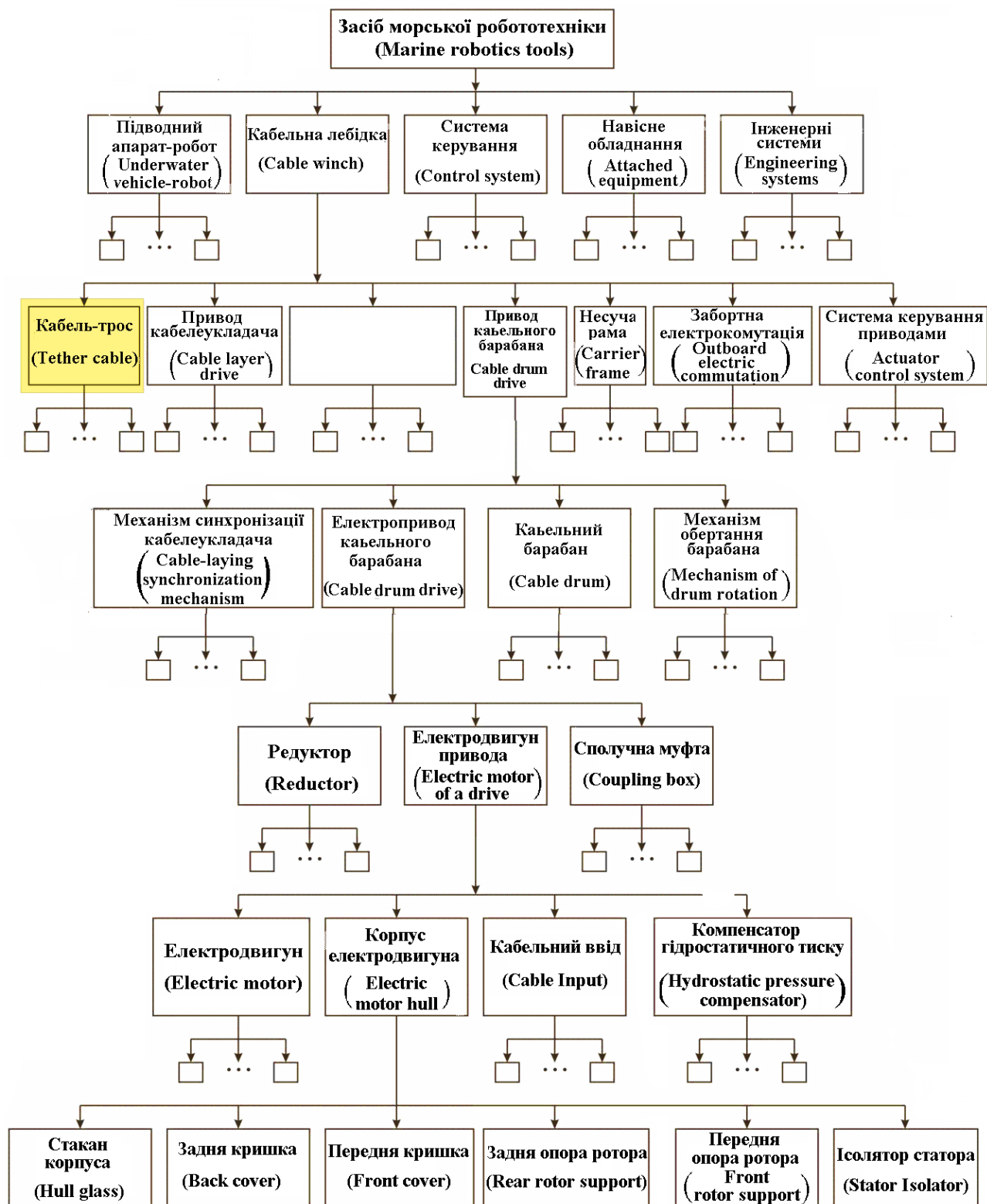


Рисунок 3 – Дерево цілей проекту створення ЗМР
Figure 3 – The targets tree for the MRE creation project

Отже, ефективність проекту прямо пов'язана з ефективністю роботи всіх підрозділів та залежить від якості технологічного устаткування й організації роботи.

На основі одержаної структурної моделі команда проекту виконує первинну оцінку про передбачуваний обсяг робіт і про необхідні ресурси по проекту в цілому. Виконується вибір проектних організацій, а також Генерального підрядника і субпідрядників.

За результатами розробки структурної моделі ЗМР складається повний перелік деталей (об'єктів), які входять до його складу і які необхідно розробляти. Ця інформація і досвід попередніх робіт є вихідними даними для розробки моделей.

Досвід автора, отриманий при створенні низки дослідних зразків морської техніки, показав, що традиційний підхід до планування робіт по створенню ЗМР має суттєві недоліки:

- втрати часу і матеріальних ресурсів завдяки виконанню однотипних робіт та створенню вузлів, що мають однакові технічні характеристики;

- створені ЗМР мають низку «гнучкості» – не мають резервів для модернізації або швидкої зміни їх технічних характеристик.

Ці недоліки можуть бути усунені завдяки застосуванню для створення ЗМР модульного принципу побудови та подальшому формуванню елементів організаційної структури не

Consequently, the effectiveness of the project is directly related to the efficiency of all the units and depends on the quality of technological equipment and organization of work.

Based on the obtained structural model, the project team performs an initial assessment of the estimated scope of work and the necessary resources for the project as a whole. A selection of design organizations, as well as the General Contractor and subcontractors, is being performed.

According to the results of the development of the MRE structural model, a complete list of the parts (objects) which are in its composition and which needs to be developed is made up. This information and the previous experience are the source for the development of models.

The author's experience gained during the creation of a number of marine equipment prototypes showed that the traditional approach to work planning on the MRE creation has significant deficiencies:

- loss of time and material resources due to the implementation of the same type of work and the creation of units with the same technical characteristics;

- created MRE has a number of "flexibility" – has no reserves for modernization (upgrading) or rapid change in their technical characteristics.

These disadvantages can be eliminated due to the application of the modular construction principle for the MRE creation and the subsequent formation of elements of the organizational structure not by the objects

за об'єктами створення, а за технічними напрямами діяльності. Відповідно до загальних правил декомпозиції дерево цілей структурної моделі ЗМР наведено на рис. 4 [5–11].

of creation, but by the activity technical directions. In accordance with the general decomposition rules, the target tree of the MRE structural model is shown in Fig. 4 [5-11].

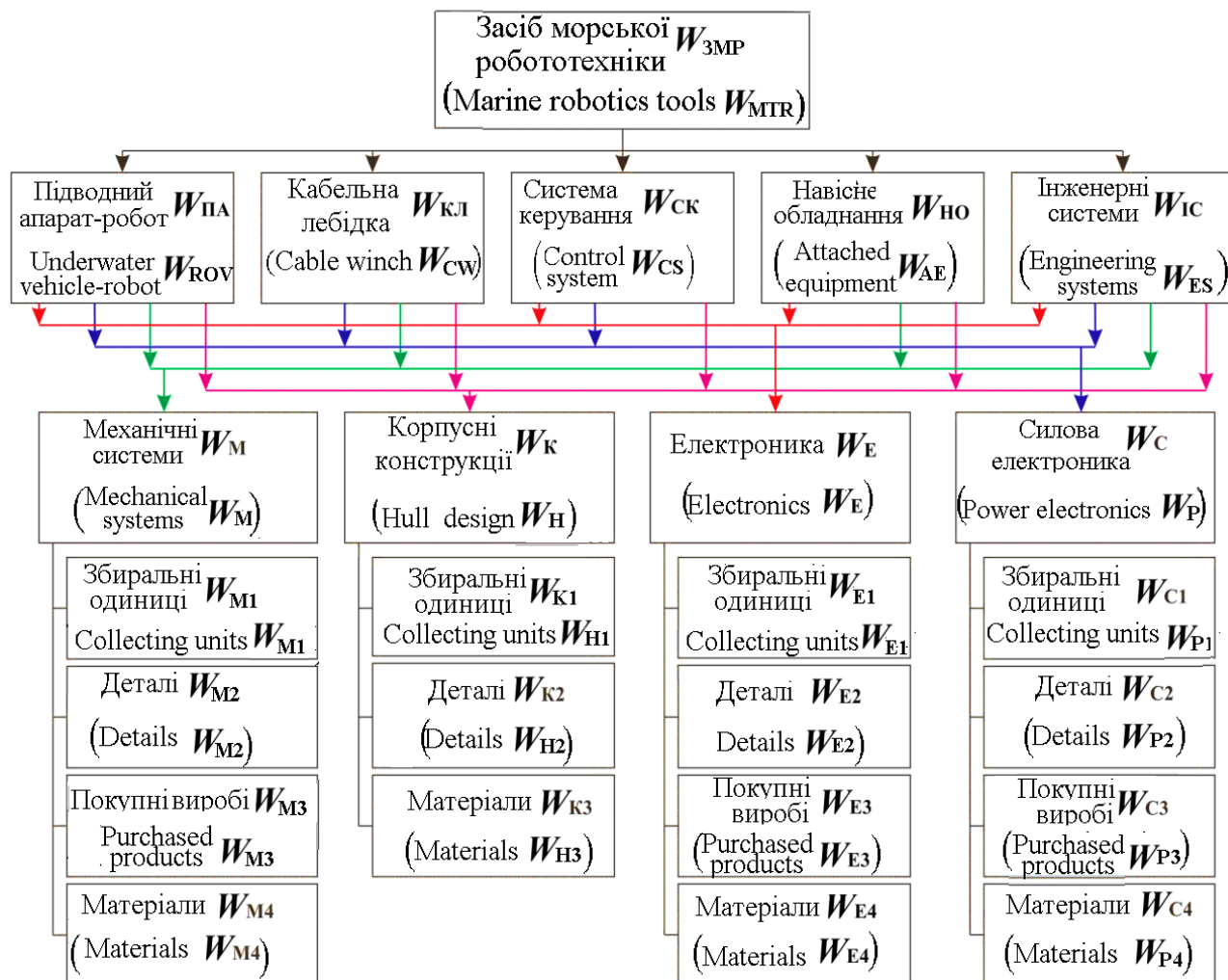


Рисунок 4 – Дерево цілей структурної моделі проекту

Figure 4 – The target tree of the project structural model

Аналіз розробленої структурної моделі ЗМР показує, що вона далека від класичної деревоподібної структури. Причина цього полягає у використанні при проектуванні елементів комплексу модульного принципу, коли у всіх складових елементах комплексу використовуються однотипні системи (табл. 2).

Analysis of the developed MRE structural model shows that it is far from the classical tree-like structure. The reason for this is the use of design elements of the module principle complex, when all components of the complex use the same type of system (Table 2).

Таблиця 2 – Застосування систем у ЗМР різного типу

Table 2 – Application of systems in various types of MRE

Типові системи ЗМР (MRE typical systems)	Типи ЗМР (Types of MRE)							
	буксировані (towed)		самохідні прив'язні (self-propelled tethered)		прив'язні, що опускаються (decending tethered)		автономні (autonomous)	
	легкі (light)	Важкі (heavy)	легкі (light)	Важкі (heavy)	легкі (light)	Важкі (heavy)	легкі (light)	Важкі (heavy)
1. Механічні системи (Mechanical systems)								
Підводний апарат-робот (Underwater vehicle-robot)	+	+	+	+	+	+	+	+
Рушійно-кермовий комплекс (Propulsion and steering complex)			+	+			+	+
Рульовий комплекс (Steering complex)	+	+					+	+
Оберту відеокomплексу (Video complex turnaround)	+	+	+	+	+	+	+	+
Кабельна лебідка (Cable winch)	+	+	+	+	+	+		
Навісне обладнання (Attached equipment)				+				+
Інженерні системи (Engineering systems)	+	+	+	+	+	+	+	+
2. Корпусні конструкції (Hull designs (structures))								
Підводний апарат-робот (Underwater vehicle-robot)	+	+	+	+	+	+	+	+
Кабельна лебідка (Cable winch)	+	+	+	+	+	+		
Система керування (Control system)	+	+	+	+	+	+		
Навісне обладнання (Attached equipment)				+				+
Інженерні системи (Engineering systems)	+	+	+	+	+	+	+	+

Продовження табл. 2.

Table continuation 2.

Типові системи ЗМР (MRE typical systems)	Типи ЗМР (Types of MRE)							
	буксировані (towed)		самохідні прив'язні (self-propelled tethered)		прив'язні, що опускаються (decending tethered)		автономні (autonomous)	
	Легкі (light)	важкі	Легкі (light)	важкі	Легкі (light)	важкі	Легкі (light)	важкі
3. Електроніка (Electronics)								
Підводний апарат-робот (Underwater vehicle-robot)	+	+	+	+	+	+	+	+
Навігаційний комплекс (Navigation system (complex))	+	+	+	+			+	+
Гідроакустичний комплекс (Hydroacoustic complex)	+	+	+	+			+	+
Відеокomплекс (Video complex)	+	+	+	+	+	+	+	+
Інформаційний обмін (Information exchange)	+	+	+	+	+	+		
Система керування (Control system)	+	+	+	+	+	+		
Навісне обладнання (Attached equipment)				+				+
Інженерні системи (Engineering systems)	+	+	+	+	+	+		
4. Силова електроніка (Power electronics)								
Підводний апарат-робот (Underwater vehicle-robot)	+	+	+	+	+	+	+	+
PSG control system	+	+	+	+			+	+
Автономні джерела живлення (Autonomous power supplies)					+		+	+
Кабельна лебідка (Cable winch)	+	+	+	+	+	+		
Система керування (Control system)	+	+	+	+	+	+		
Інженерні системи (Engineering systems)	+	+	+	+			+	+

У нашому випадку узагальнена базова структура проекту W_{3MP} містить у собі ПА, КЛ з КТ, СК, НО та ІС:

$$W_{3MP} = \{W_{ПА}, W_{КЛ}, W_{СК}, W_{НО}, W_{ІС}\}.$$

У свою чергу, обсяг необхідних робіт з кожної основної системи комплексу залежить від числа комплексних систем, які входять до його складу. Для апарата-робота – це:

$$W_{ПА} = \{W_{РПІ}, W_{УВКТ}, W_{ПТВК}, W_{НР}, W_{ЕКА}, W_{ЕЛА}, W_{ТБК}, W_{О}, W_{П}\}, \quad (1)$$

де $W_{РПІ}$ – роботи над рушійно-кермовим пристроєм (РКП);

$W_{УВКТ}$ – роботи над вузлом введення КТ;

$W_{ПТВК}$ – роботи над приводом телевізійного комплексу;

$W_{НР}$ – роботи над несучою рамою;

$W_{ЕКА}$ – роботи над забортною електрокомутацією;

$W_{ЕЛА}$ – роботи над електронними системами;

$W_{ТБК}$ – роботи над телевізійним комплексом;

$W_{О}$ – роботи над системою підводного освітлення;

$W_{П}$ – роботи над блоками плавучості.

Для кабельної лебідки:

$$W_{КЛ} = \{W_{КТ}, W_{ПК}, W_{СП}, W_{КБ}, W_{НРЛ}, W_{ЕКЛ}, W_{ЕЛЛ}\}, \quad (2)$$

де $W_{КТ}$ – роботи над КТ;

$W_{ПК}$ – роботи над приводом кабелеукладача;

In our case, the generalized basic structure of the W_{MRE} project includes UV, CW with TC, CS, AE and ES:

$$W_{MRE} = \{W_{UV}, W_{CW}, W_{CS}, W_{AE}, W_{ES}\}.$$

In turn, the amount of work required for each complex major system depends on the number of the complex systems that are included in its composition. For a vehicle-robot it is:

$$W_{UV} = \{W_{PSG}, W_{CTIU}, W_{TVCD}, W_{CF}, W_{OEC}, W_{ELS}, W_{TVC}, W_{UL}, W_{BU}\}, \quad (1)$$

where W_{PSG} – work on the propulsion and steering gear (PSG);

W_{CTIU} – work on the TC input unit;

W_{TVCD} – work on the TV complex drive;

W_{CF} – work on the carrier frame;

W_{OEC} – work on outboard electronic commutation;

W_{ELS} – work on electronic systems;

W_{TVC} – work on the TV complex;

W_{UL} – work on the underwater lighting system;

W_{BU} – work on buoyancy units.

For cable winches:

$$W_{CW} = \{W_{TC}, W_{WD}, W_{CTN}, W_{KD}, W_{WCF}, W_{WOEC}, W_{WES}\}, \quad (2)$$

where W_{TC} – work on TC;

W_{WD} – work on the cable winder drive;

$W_{СП}$ – роботи над струмоперехідним вузлом;

$W_{КБ}$ – роботи над приводом кабельного барабана;

$W_{НРЛ}$ – роботи над несучою рамою лебідки;

$W_{ЕКЛ}$ – роботи над забортною електрокомутацією лебідки;

$W_{ЕЛЛ}$ – роботи над електронними системами лебідки.

Для системи керування:

$$W_{СК} = \{W_{КП}, W_{КЕ}, W_{ЕС}, W_{ЕП}\}$$

де $W_{КП}$ – роботи над конструкцією пульта управління;

$W_{КЕ}$ – роботи над конструкцією системи електроживлення комплексу;

$W_{ЕС}$ – роботи над електронними системами;

$W_{ЕП}$ – роботи над системою електроживлення комплексу.

Для інженерних систем:

$$W_{ІС} = \{W_{СЕ}, W_{СПУ}, W_3, W_{НН}, W_{НП}\},$$

де $W_{СЕ}$ – роботи над системою електропостачання;

$W_{СПУ}$ – роботи над спуско-піднімальним пристроєм;

W_3 – роботи над системою зв'язку;

$W_{НН}$ – роботи над системою надводної навігації;

$W_{НП}$ – роботи над системою підводної навігації.

Роботи по кожній із систем, що входять до складу ЗМР, знайдемо як суму:

W_{CTN} – work on the current transfer node;

W_{KD} – work on the cable drum drive;

W_{WCF} – work on a winch carrier frame;

W_{WOEC} – the winch outboard electronic commutation;

W_{WES} – work on winch electronic systems.

For the control system:

$$W_{CS} = \{W_{DCP}, W_{DCPS}, W_{ES}, W_{CPSS}\},$$

where W_{DCP} – work on the control panel design;

W_{DCPS} – work on the complex power system design;

W_{ES} – work on electronic systems;

W_{CPSS} – work on the complex power supply system.

For engineering systems:

$$W_{ES} = \{W_{CE}, W_{СПУ}, W_3, W_{НН}, W_{НП}\},$$

where $W_{СПС}$ – work on the system power supply;

W_{LD} – work on the launching device;

W_{CS} – work on communication system;

W_{SNS} – work on surface navigation system;

W_{UNS} – work on underwater navigation system.

Work on each of the systems making up the MRE, can be found as the sum:

$$W = \sum_{i=1}^n W_i, \quad (3)$$

де W_i – роботи над пристроєм, який входить до системи; n – загальна кількість пристроїв, що входять до системи.

Аналогічно, з використанням виразу (2.3), визначаються роботи над вузлами і складальними одиницями:

$$\begin{aligned} W_i &= \sum_{n=1}^m W_n, \\ W_n &= \sum_{m=1}^k W_m, \\ W_m &= \sum_{k=1}^d W_k, \end{aligned}$$

де W_i – роботи над пристроєм системи;

W_n – роботи над вузлом пристрою;

W_m – роботи над складальною одиницею, яка входить у вузол;

W_k – роботи над деталлю, що входить у складальну одиницю;

m – загальна кількість вузлів у пристрої;

k – загальна кількість складальних одиниць у вузлі;

d – загальна кількість деталей, що входять у складальну одиницю.

З огляду на те, що в апараті-роботі електроприводи використовуються у рушійно-кермовому пристрої й у телевізійному комплексі, а в кабельній лебідці – в приводі кабелеукладача й у приводі кабельного барабана, з урахуванням виразів (1), (2) і (3) одержимо:

$$W = \sum_{i=1}^n W_i, \quad (3)$$

where W_i is the work on a device that is included in the system; n is the total number of devices included in the system.

Similarly, using the expression (3), work on nodes and assembly units are defined:

$$\begin{aligned} W_i &= \sum_{n=1}^m W_n, \\ W_n &= \sum_{m=1}^k W_m, \\ W_m &= \sum_{k=1}^d W_k, \end{aligned}$$

where W_i – work on the system device;

W_n – work on the device node;

W_m – work on the assembly unit, which is included in the node;

W_k – work on the part included in the assembly unit;

m – total number of nodes in the device;

k – total number of assembly units in the node;

d – total number of parts included in the assembly unit.

Taking into account the fact that in vehicle-robot, electric drives are used in a propulsion-steering gear (device) and in a television complex, and in a cable winch – in a cable winder drive and in a cable drum drive, taking into account the expressions (1), (2) and (3), we get:

$$T_{\Phi\Pi} = \bar{T}_{\text{HDP}} + T_{\text{DKP}} + T_{\text{TPB}} = 280...340$$

$$W_{\Pi\Pi} = W_{\text{ДРК}} \cap W_{\text{ПТВК}} \cap W_{\text{ПК}} \cap W_{\text{КБ}}, \quad (4)$$

де $W_{\Pi\Pi}$ – роботи над електроприводами морського комплексу.

Аналогічно можна виразити роботи над системами керування й телеметрії базових елементів морського комплексу:

$$W_{\text{ЕЛ}} = W_{\text{ЕЛА}} \cap W_{\text{ЕЛЛ}} \cap W_{\text{ЕС}}, \quad (5)$$

де $W_{\text{ЕЛ}}$ – роботи над електронними системами морського комплексу.

Роботи над забортною електрокомутацією:

$$W_{\text{ЕК}} = W_{\text{ЕКА}} \cap W_{\text{ЕКЛ}}, \quad (6)$$

де $W_{\text{ЕК}}$ – роботи над забортною електрокомутацією морського комплексу.

Кожна з основних систем ЗМР є закінченим технічним виробом і у рамках одного класу технічних засобів є універсальним, тобто може бути використана у складі будь-якого засобу цього класу або серії. Окрім цього, використання в усіх елементах комплексу однотипних вузлів і механізмів, відповідно до модульного принципу побудови, дозволяє значно підвищити живучість і ремонтпридатність вузлів, а також значно скоротити час і трудовитрати на проектні, будівельні і ремонтно-відновні роботи при виникненні аварійних ситуацій у процесі експлуатації

$$T_{\text{DP}} = \bar{T}_{\text{RDW}} + T_{\text{EDW}} + T_{\text{TPP}} = 280...340$$

$$W_{\text{DR}} = W_{\text{EDW}} \cap W_{\text{TVCD}} \cap W_{\text{WD}} \cap W_{\text{KD}}, \quad (4)$$

where W_{DR} – work on marine complex electric drives.

Similarly, the work on the control systems and telemetry of the basic elements of the marine complex can be expressed as

$$W_{\text{EL}} = W_{\text{ELS}} \cap W_{\text{WES}} \cap W_{\text{ES}}, \quad (5)$$

where W_{EL} – work on marine complex electronic systems.

Work on the outboard electronic commutation:

$$W_{\text{EC}} = W_{\text{OEC}} \cap W_{\text{WOEC}}, \quad (6)$$

where W_{EC} – work on of marine complex electronic commutation.

Each of MRE major systems is a complete technical product and is universal within the framework of one class of technical facilities, that is, it can be used as part of any product of this class or series. In addition, the use of similar components and mechanisms in all elements of the complex, in accordance with the modular construction principle, can significantly improve the survivability and maintainability of the nodes, as well as significantly reduce time and labor for design, construction and repair and restoration work in the event of emergencies

комплексу. Ця обставина є актуальною при виконанні робіт при значному віддаленні від ремонтних баз [9, 12–14].

На цей час у потенційних замовників і користувачів відсутній інструмент, який би дав змогу провести оцінку інвестиційної привабливості того чи іншого проекту ЗМР і сформулювати працездатне технічне завдання проекту. Тому актуальним є створення математичного підґрунтя, яке б дозволило на попередніх етапах кількісно оцінити технічні, технологічні і фінансові ресурси, що будуть потрібні для успішного створення і подальшого застосування ЗМР.

Така методика може бути створена на основі математичної моделі, за допомогою якої, оперуючи зрозумілими вхідними даними, замовник одержує конкретні технічні характеристики для формування вихідних даних для проекту, включаючи кінцеву вартість ЗМР та витрати на його експлуатацію. Основою моделі є база даних типового обладнання, з неї за допомогою математичної моделі формується матриця вихідних даних, за якими і складається технічне завдання проекту, здійснюється оцінка його техніко-економічних показників. Одночасно виконується оцінка можливості використання вже існуючих технологій виконання підводних робіт або визначається потреба в розробці нових підводних технологій застосування ЗМР.

Таким чином, система відношень (4–6) утворює основу для визначення вартості конструкторських робіт проекту по створенню.

during the complex operation. This fact is relevant when working at a considerable distance from the repair bases [9, 12-14].

At present, there is no tool for potential customers and users that would allow an assessment of the investment attractiveness of a given MRE project and form a workable project technical specification. Therefore, it is important to create a mathematical rationale that would allow the preliminary stages to quantify the technical, technological and financial resources that will be required for the successful creation and subsequent MRE application.

Such a technique can be created on the basis of a mathematical model, by which, based on understandable input data, the customer receives specific technical specifications for the formation of initial data for the project, including the MRE final cost and the cost of its operation. The basis of the model is a typical equipment database, from it using a mathematical model, a matrix of initial conditions is formed, on which the project technical task is compiled, and its technical and economic indicators are evaluated. At the same time, an assessment is made of the possibility of using already existing work performance technologies for underwater operations, or the need for developing new underwater technologies for the use of MRE is determined.

Thus, the relations system (4-6) forms the basis for determining the cost of design work of the project to create.

За результатами розробки й аналізу структурної моделі елементи ЗМР поділяють на три категорії. До першої категорії відносять ті елементи й вузли, які можуть бути використані з попередніх проектів. До другої категорії відносять ті елементи й вузли, які можуть бути запозичені з попередніх проектів, але для нового проекту вимагають проведення ДКР. І в третю категорію виділяють ті елементи, для виготовлення яких буде потрібне проведення НДР.

Використання однотипних модулів у системах ЗМР дає змогу не тільки знизити загальні витрати ресурсів на створення засобу в цілому, але й надалі знизити витрати на експлуатацію комплексу і ремонтно-відновлювальні роботи за рахунок взаємозамінності окремих вузлів та агрегатів складових елементів комплексу.

Такий підхід до проектування ЗМР зводиться до розробки типових рядів обладнання, які мають різні характеристики і однакові приєднувальні розміри. Наявність таких типових рядів дозволяє змінити традиційний підхід до створення підводного апарата і підводної системи в цілому [13, 14].

Застосування модульного принципу створення ЗМР дозволяє застосовувати однотипні модулі в усіх його системах. Це призводить до взаємозамінності елементів, вузлів і систем ЗМР.

Узагальнений алгоритм модульного принципу створення ЗМР включає наступні основні етапи:

According to the results of the development and analysis of the structural model, the MRE elements are divided into three categories. The first category includes those elements and nodes that can be used in previous projects. The second category refers to those elements and nodes that can be borrowed from previous projects, but for the new project, it is required to conduct EDW. And in the third category distinguish those elements, for the manufacture of which will need to conduct RDW.

The use of one-type modules in the MRE systems allows not only to reduce the total cost of resources for the creation of a tool in general, but also to further reduce the cost of operation of the complex and repair-and-renewal operations (damage control) due to the interchangeability of individual units and aggregates of the constituent elements of the complex.

Such an approach to design the MRE boils down to developing typical varieties of equipment that has different characteristics and the same attachment sizes (mounting dimensions). The presence of such typical varieties allows changing the traditional approach to the underwater vehicle creation and an underwater system in general [13, 14].

The application of the modular principle of MRE creation allows the use of similar modules in all its systems. This leads to the interchangeability of elements, nodes and MRE systems.

The generalized algorithm of MRE creation modular principle comprises the following main stages:

1. Аналіз технічного завдання, умов виконання і видів підводно-технічних робіт.

2. Аналіз технологій виконання підводно-технічних робіт.

3. Аналіз рівнянь існування ЗМР.

4. Вибір типу і схеми ЗМР.

5. Розрахунок силоенергетичних характеристик.

6. Визначення характеристик основних підсистем, механізмів і вузлів ЗМР.

7. Вибір механізмів, вузлів і систем ЗМР з типових рядів.

8. Оцінка відповідності характеристик вибраних вузлів розрахунковим даним. При невиконанні умови виконується повернення до пункту 6.

9. Оцінка критерію модульності та показників уніфікації ЗМР. При невиконанні умови виконується повернення до пункту 3.

10. Оцінка відповідності ЗМР технічному завданню. При невиконанні умови виконується повернення до пункту 2.

Для наочного відображення складних залежностей між підзадачами використовується мережеве планування. Варіантів мережевого планування існує досить багато, але для всіх них базовою є одна передумова: кінцевий план представлений сукупністю дій, зв'язаних між собою хронологічними і логічними умовами реалізації. Іншими словами, є дії, виконувати які можна тільки послідовно, і є дії, які можна виконувати у будь-якому порядку. Крім того, для

1. Analysis of the technical specifications, performance conditions and types of underwater technical operations.

2. Analysis of technologies for performing underwater technical operations.

3. Analysis of the MRE existence equations.

4. Selection of the type and scheme of MRE.

5. Calculation of power and power characteristics.

6. Determination of the main subsystems characteristics, mechanisms and MRE units.

7. The choice of MRE mechanisms, units and systems from the standard series.

8. Conformity estimation of characteristics of selected nodes with calculated data. If the condition is not met, the return to item 6 is carried out.

9. Evaluation of MRE modality criterion and unification indicators. If the condition is not fulfilled, it returns to step 3.

10. MRE compliance evaluation to the technical specifications. If the condition is not fulfilled, it returns to step 2.

Network mapping is used to visually display complex interactions between subtasks. There are quite a lot of options for network planning, but for all of them, there is one prerequisite: the final plan is represented by a set of actions connected with each other by the chronological and logical conditions of implementation. In other words, there are actions that can only be performed sequentially, and there are actions that can be performed in any order. In

всіх дій можна встановити послідовність їх реалізації.

Розбиття робіт за проектом здійснюється на незалежні блоки (пакети) робіт, які передаються в управління окремим менеджерам команди УП. Роботи структуруються на групи так, щоб відповідати умовам договору і логіці їх виконання.

Таким чином, встановлюється логічний зв'язок між роботами і витратами. Кожна робота повинна співвідноситися з певною кількістю показників: людські і матеріальні ресурси, терміни виконання, виконавці, можливі ризики і т.д.

Виконання кожної роботи пов'язане з певною фазою і стадією ДКР. Ці зв'язки також використовуються для кодування завдань і робіт. Тому необхідно встановити зв'язки між завданнями і роботами, визначити, яким чином роботи слідують одна за одною, а також визначити типів зв'язків: початок-кінець, початок-початок і т.д.

Першим кроком при реалізації ДКР створення ЗМР є визначення саме верхнього рівня декомпозиції проекту. Таким рівнем будуть основні базові об'єкти, складові ЗМР, перелік яких визначається технічним завданням:

- підводний апарат;
- навісне обладнання;
- кабельна лебідка;
- пристрій для постановки/вибору;
- кабель-трос;
- система керування;
- транспортний візок;
- комплект запасного майна (ЗІП);

addition, for all actions, their implementation sequence can be set.

Breakdown of work on the project is carried out on independent blocks (packages) of works, which are transferred to the management of individual managers of the PM team. The works are structured into groups so that they meet the terms of the contract and the of their implementation logic.

Thus, a logical connection between work and cost is established. Each work should relate to a certain number of indicators: human and material resources, works execution period (deadlines), performers, possible risks, etc.

The execution of each work is associated with a certain phase and stage of the EDW. These links are also used to encode jobs and tasks. Therefore, it is necessary to establish links between tasks and works, to determine how and which work follows the other, as well as determine the types of relationships: beginning-end, beginning – beginning, etc.

The first step in the EDW implementation of MRE creation is to determine exactly the highest level of project decomposition. This level will be the main basic objects, MRE components, the list of which is determined by the technical specifications:

- underwater vehicle;
- attached equipment;
- cable winch;
- device for setting/selection;
- tether cable;
- control system;
- transportation trolley;
- a set of spare parts (SSP);

- експлуатаційна документація;
- монтажні частини.

Для реалізації кожного об'єкта, на кожному етапі ДКР, необхідно виконати певний перелік робіт і завдань при її виконанні (табл. 3).

- operational documentation;
- mounting parts.

For the realization of each object, at each EDW stage, it is necessary to perform a certain list of works and tasks during its implementation (Table 3).

Таблиця 3 – Перелік робіт проекту створення ЗМР

Table 3 – List of MRE creation project works

Етапи ДКР (EDW stages)	Основні завдання і склад робіт (Main tasks and works composition)	
Ескізне проектування (Schematic design)	Розробка принципів технічних рішень: – вибір елементної бази розробки; – вибір основних технічних рішень; – розробка структурних і функціональних схем виробу; – вибір основних конструктивних елементів; – метрологічна експертиза проекту; – розробка і випробування макетів	Development of fundamental technical solutions: – the choice of the development elemental base; – choice of basic technical solutions; – development of structural and functional schemes of the product; – choice of main structural elements; – metrological examination of the project; – development and testing of prototype models
Технічне проектування (Technical design)	Остаточний вибір технічних рішень по виробу в цілому і його складових частинах: – розробка принципів електричних, кінематичних, гідравлічних та інших схем; – уточнення основних параметрів виробу; – проведення конструктивної компоновки виробу; – розробка ТУ на постачання і виготовлення виробу; – випробування макетів основних приладів виробу	The final choice of technical solutions for the product as a whole and its components: – development of principal electric, kinematic, hydraulic and other schemes; – clarification of the product basic parameters; – carrying out a constructive packaging of of the product; – development of TC for the supply and manufacture of the product; – test of the prototype model of the main devices of the product

Етапи ДКР (EDW stages)	Основні завдання і склад робіт (Main tasks and works composition)	
Розробка робочої документації (Development of working documentation)	Формування комплекту конструкторських документів: – розробка повного комплекту робочої документації; – узгодження її із замовником і заводом-виготівником серійної продукції; – перевірка конструкторської документації на уніфікацію і стандартизацію	Formation of a set of design documents: – development of a complete set of working documentation; – coordination with the customer and the factory-manufacturer of batch production; – verification of design documentation for unification and standardization
Виготовлення дослідного зразка (Production of the prototype)	– виготовлення дослідного зразка; – налаштування і комплексне регулювання; – стендові випробування; – попередні випробування на об'єкті; – випробування на надійність	– production of the prototype; – tuning and complex regulation; – bench tests; – preliminary tests on the object; – reliability test
Міжвідомчі випробування (Inter- departmental tests)	Оцінка відповідності вимогам ТЗ і можливості організації серійного виробництва	Compliance assessment with TS requirements and the possibility of organizing batch (serial) production
Випробування у складі судна (Tests involving the vessel)	Передача дослідного зразка на завод-виготівник судна	Transfer of the prototype to the vessel factory-manufacturer
Коректування документації за результатами випробувань (Documentation correction based on the test results)	Внесення необхідних уточнень і змін до документації. Привласнення документації літери “О ₁ ”	Making the necessary clarifications and changes to the documentation. Assigning the documentation to the letter "O ₁ "

Розроблений план повинен пройти перевірку на можливість реалізації і оптимальність. Практично такий контроль виражається в перевірці достатності і необхідності трудових та матеріальних ресурсів для виконання.

Отриманий графік необхідно також перевірити на відповідність термінам, передбаченим на реалізацію кожної НДР та ДКР проекту. Особливо необхідно переконатися в тому, що:

- віхи проекту вибрані вірно;
- терміни виконання робіт проекту чітко позначені і відповідають прийнятому плану дій;
- розбиття робіт відповідає вимогам принципу зворотного зв'язку по узагальненню та аналізу проекту;
- кодування робіт відповідає вартісному розбиттю робіт.

У подальшому графіки повинні відображати поточний стан ходу виконання робіт, тому вони повинні постійно оновлюватися. Основними причинами невідповідності планових графіків фактичному розвитку реалізації проекту є:

- реалізація проекту зазнає постійних дестабілізуючих дій у вигляді зриву термінів, браку, зміни умов фінансування, кліматичних дій тощо. Це означає, що передбачити всі ці зміни при побудові графіків практично неможливо;
- модель, яка лежить в основі УП, при побудові значною мірою зазнало впливу суб'єктивного чинника укладача. Тобто, графіки робіт суб'єктивні за своїм походженням;

A developed plan must pass the test for feasibility and optimality. Practically, such control is expressed in checking the sufficiency and necessity of labor and material resources for execution.

The resulting schedule should also be checked for compliance with the deadlines provided for the implementation of each RDW and EDW of the project. Especially it is necessary to make sure that:

- the milestones of the project is chosen correctly;
- the works execution periods of the project work are clearly marked and correspond to the adopted action plan;
- the work breakdown complies with the feedback principle requirements for the project synthesis and analysis;
- work coding corresponds to the work cost breakdown;

In the future, graphs should reflect the current status of the work progress, so they need to be constantly updated. The main reasons for the discrepancy between the planned schedules and the actual development of the project implementation are:

- project implementation is subject to constant destabilizing actions in the form of a breakdown of terms, marriages, changes in terms of financing conditions, climate influences, etc. This means that it is almost impossible to foresee all these changes when plotting graphs;
- the model underlying the PM, during construction, was significantly influenced by the compiler's subjective factor. That is, work schedules are subjective in origin;

– наявність безлічі технологічно допустимих варіантів проведення робіт.

Графіки робіт можуть переглядатися по ходу проекту. Можуть змінюватися одна або декілька з наступних характеристик:

- послідовність виконання робіт;
- тривалість виконання робіт;
- ресурси, використовувані при виконанні робіт;
- терміни виконання робіт.

До типових помилок при плануванні відносять:

- постановку неправильних цілей проекту;
- неповноту початкових даних для планування;
- відсутність обліку попереднього досвіду;
- відсутність інформації про доступність ресурсів;
- використання тільки фахівців з планування;
- низький ступінь координації;
- відсутність мотивації;
- зайву деталізацію або збільшення;
- відсутність відстежування виконання планів.

Процес створення ЗМР має не тільки якісний, а і кількісний характер. Кількість варіантів досягнення мети зростає завдяки використанню різноманітних технічних рішень або їх поєднанню. Необхідні характеристики створюваного ЗМР які визначають ефективність його застосування, можна отримати шляхом використання різних матеріалів, конструкцій, обладнання тощо.

– presence of a set of technologically admissible alternatives of work execution.

Work schedules can be reviewed in the project course. One or more of the following characteristics may change:

- sequence of work execution;
- duration of work execution;
- resources used in work execution;
- terms of work execution.

Typical mistakes in planning include:

- setting the wrong goals of the project;
- incomplete initial data for planning;
- lack of consideration for previous experience
- lack of information on the availability of resources;
- use of planning specialists only;
- low degree of coordination;
- lack of motivation;
- unnecessary excessive detailing or increase;
- no tracking of plans implementation.

The process of creating an MRE is not only qualitative, but also quantitative. The number of options for achieving the goal increases with the use of a variety of technical solutions or their combination. The required characteristics of the created MRE that determine the effectiveness of its application can be obtained by using various materials, structures, equipment, etc.

Використання при створенні ЗМР складних комплектуючих засобів, зростання витрат на науково-дослідні, дослідно-конструкторські та проектні роботи ставить проект створення ЗМР на один рівень з продукцією суднобудівної та авіаційної промисловостей.

У ході реалізації проекту постійно виникає проблема багатоваріантності рішень, які відрізняються за характеристиками та вартістю. Техніко-економічне обґрунтування потрібне для вибору оптимального варіанта, який буде відповідати прийнятим критеріям. Необхідність в економічному обґрунтуванні та його характер потрібні на кожному з етапів реалізації проекту, а саме:

- ескізний проект, у ході якого виконується конструкторська проробка оптимального варіанта ЗМР, креслення основних складових частин та уточнюються загальний вигляд і параметри виробу;

- технічний проект, у ході якого виконують роботи, необхідні для забезпечення вимог до ЗМР і дозволяють отримувати повне уявлення про його конструкцію, оцінити його відповідність вимогам тактико-технічного завдання (ТТЗ) або технічного завдання (ТЗ), технологічність, ступінь складності виготовлення, способи пакування, можливості транспортування і монтажу на місці застосування, зручність експлуатації і ремонтпридатність;

- робоча конструкторська документація для виготовлення

The application in the MRE creation of complex component equipment, an increase in the expenditures of research and development work, experimental design work puts the MRE project creation at one level with the products of the shipbuilding and aviation industries.

In the course of the project execution, there is always a problem of multi-variant solutions, which differ in characteristics and cost. The feasibility study is required to select the optimal option that will meet the criteria. The need for economic substantiation and its nature are needed at each stage of the project implementation, namely:

- sketch design, during which the design developmental work of MRE optimal version is realized, the drawings of the main components and the general view and parameters of the product are specified;

- a technical project in which the works necessary to meet the requirements of the MRE and allow to get a complete picture of its design are carried out, assess its compliance with the requirements of the tactical and technical specification (TTS) or the technical specification (TS), the manufacturability, the degree of production complexity, methods packaging, transport and installation possibilities at the place of application, ease of use and maintainability;

- working design documentation for the production of the prototype,

дослідного зразка, яку розробляють відповідно до вимог ТТЗ (ТЗ);

- виготовлення дослідного зразка, на якому виготовляється дослідний зразок для визначення його відповідності вимогам ТТЗ (ТЗ) і можливості пред'явлення на державні випробування;

- державні випробування дослідного зразка, на якому проводяться випробування дослідного зразка, відповідно до розроблених програм та методик, для перевірки відповідності характеристик виробу вимогам ТТЗ (ТЗ);

- затвердження робочої конструкторської документації для організації серійного виготовлення, на якому відбувається узгодження та затвердження комплексу конструкторської документації та її підготовка до налагодження серійного виробництва.

У ході виконання обґрунтування кожен виріб може бути описаний набором характеристик, які визначають властивості ЗМР у цілому, його експлуатаційні дані та інші технічні характеристики, за сукупністю яких визначається вигляд проектного об'єкта.

В ході виконання техніко-економічного аналізу та обґрунтування робіт кожен ЗМР може бути описаний сукупністю характеристик, які можна поділити на дві групи:

- експлуатаційні характеристики (ЕХ), які визначають експлуатаційні властивості ЗМР; до них належить швидкість руху, максимальна глибина занурення, геометричні розміри, маса та ін.;

which is being developed in accordance with the TTS (TS) requirements;

- production of a prototype, on which a prototype is manufactured to determine its conformity to the TTS (TS) requirements and the possibility of presenting to state tests (trials);

- state tests of the prototype, in which tests of the prototype are carried out, in accordance with the developed programs and techniques, to check the conformity of product characteristics to the TTS (TS) requirements;

- approval of the working design documentation for the organization of batch production, which is the coordination and approval of the set of design documentation and its preparation for the establishment of batch production.

In the course of performing the substantiation (rationale), each product can be described by a set of characteristics that determine the MRE properties as a whole, its operational data and other technical characteristics, the totality of which determines the appearance of the projected object.

In the course of carrying out a feasibility study and work substantiation, each MRE can be described by a set of characteristics that can be divided into two groups:

- operational characteristics (OC) that determine the MRE properties; they include the movement speed, maximum depth of immersion, geometric dimensions, mass, etc.,

– параметри технічних рішень (ПТР), під якими маються на увазі механічні характеристики матеріалів, відносна змочена поверхня та ін. [15–17].

Сукупність ЕХ та ПТР визначає загальну конфігурацію ЗМР. З досвіду проектування ЗМР різного призначення можна зробити висновок, що закласти усі експлуатаційні характеристики ЗМР заздалегідь неможливо. Вони пов'язані певними залежностями і тому заданий набір характеристик може бути таким, що не реалізовується. Можна задати окремі елементи ЕХ на початку проекту, при цьому забезпечувати інші характеристики у заданих рамках.

Існує група характеристик, задавання яких достатньо для проектування ЗМР, але додавання до них хоча б ще одного параметра робить ці характеристики несумісними. Усі ЕХ можна поділити на дві підгрупи:

– базові ЕХ, яких достатньо для визначення останніх характеристик створюваного ЗМР;

– розрахункові ЕХ, які визначаються у ході проектування ЗМР по базових характеристиках.

Як ЕХ ЗМР зазвичай приймаються: глибина занурення H ; швидкість руху v ; максимальне віддалення від судна-носія L ; довжина КТ $l_{\text{КТ}}$; горизонтальна складова вектора сили натягу на ходовому кінці КТ T_x ; маса на повітрі m .

– parameters of technical solutions (PTS), which mean the mechanical characteristics of the materials, the relative humidity of the surface, etc. [15-17].

The totality of the OC and the PTS determines the MRE overall configuration. From the experience of designing MRE for different purposes, it can be concluded that it is not possible to lay all the MRE operational characteristics in advance. They are related to certain dependencies and therefore the given set of characteristics may be unrealized. You can specify individual elements of the OC at the start of the project, while providing other characteristics within a given framework.

There is a group of characteristics that are sufficient to design a MRE, but adding at least one other parameter makes these characteristics incompatible. All OCs can be divided into two subgroups:

– basic OC, which is sufficient to determine the latest characteristics of the created MRE;

– calculated OCs, which are determined during the MRE design on basic characteristics.

How MRE OCs are usually taken: depth of immersion H ; speed of movement v ; maximum distance from carrier vessel; L ; length of TC l_{TC} ; horizontal component of the tension force vector at the running end of the TC; mass in the air m .

3 МОДЕЛЮВАННЯ ВАРТОСТІ ПРОЕКТНИХ РОБІТ

3 MODELING THE PROJECT WORK COST

Для прив'язних ЗМР ключовим елементом, що визначає вартість проекту у цілому, є КТ. Його ціна, залежно від типу та характеристик, може сягати 20 – 60 відсотків від загальної вартості ЗМР. Виходячи з цього, математична модель для розрахунку базової ціни прив'язного ЗМР буде визначатися наступною послідовністю.

Вектор базових ЕХ складається з таких елементів:

$$\bar{x}_o = \begin{Bmatrix} H \\ v \\ L_0 \end{Bmatrix},$$

де H – глибина занурення ЗМР, яка задана технічним завданням на проект;

v – швидкість руху ЗМР, яка задана ТЗ на проект;

L_0 – максимальне віддалення ЗМР, яке задано технічним завданням на проект.

Вектор розрахункових ЕХ

$$\bar{x}_{\Pi} = \begin{Bmatrix} l_{\text{КТ}} \\ T_x \\ m \end{Bmatrix}, \quad (7)$$

де $l_{\text{КТ}}$ – довжина КТ;

T_x – горизонтальна складова вектора сили натягу на ходовому кінці КТ;

m – маса ЗМР на повітрі.

For tethered MRE, TC is the key element determining the cost of the project as a whole. Its price, depending on the type and characteristics, can reach 20-60 percent of the MRE total cost. Based on this, the mathematical model for calculating the base (reference) price of a tethered MRE will be determined by the following sequences.

The basic OCs vector consists of the following elements:

$$\bar{x}_b = \begin{Bmatrix} H \\ v \\ L_0 \end{Bmatrix},$$

where H is the MRE immersion depth, which is given to the project technical specification;

v – the MRE velocity, which is given by the TS for the project;

L_0 – MRE maximum distance, as specified by the project technical specification.

The calculated OCs vector

$$\bar{x}_c = \begin{Bmatrix} l_{\text{TC}} \\ T_x \\ m \end{Bmatrix}, \quad (7)$$

where l_{TC} is TC's length;

T_x – horizontal component of the tension force vector at the TC running end;

m – MRE mass in the air.

Визначимо задачу оптимізації проекту створення ЗМР. При цьому рівень функціональної ефективності визначимо робочою площею. Головним показником буде радіус дії ЗМР, що визначається l_{KT}

$$W = \alpha \cdot (l_{KT} - l_0),$$

де α – коефіцієнт пропорційності;

l_0 – втрата довжини КТ на прогин.

Показник, який характеризує витрати ресурсів на створення ЗМР, визначається за формулою

$$C_n = C_1 + C_2 + C_3,$$

де C_1 – залежність вартості від маси;

C_2 – залежність вартості від потужності приводів рушійно-кермового пристрою;

C_3 – залежність вартості КТ.

Для встановлення точки оптимальності виділимо функціональну залежність C від елементів x_1, x_2 вектора розрахункових ЕХ (7):

$$C(l_{KT}, T_x) = \beta_m \cdot m(T_x) + \beta_p(T_x) + \beta_l \cdot l_{KT},$$

де $\beta_m, \beta_p, \beta_l$ – розмірні коефіцієнти.

Для встановлення коефіцієнтів $\beta_m, \beta_p, \beta_l$ використаємо результати розрахунків, які виконувались за допомогою математичної моделі КТ [18, 19].

З огляду на характер диференціальних рівнянь, можна

Determine the task of optimizing the project for the establishment of MR. In this case, the level of functional efficiency will be determined by the working area. The main indicator will be the MRE operation range, determined by l_{TC}

$$W = \alpha \cdot (l_{TC} - l_0),$$

where α – coefficient of proportionality;

l_0 – loss of TC's length on deflection.

An indicator characterizing the cost of resources for MRE creation is determined by the formula

$$C_n = C_1 + C_2 + C_3,$$

where C_1 – dependence of value on weight;

C_2 – dependence of the cost on the rudder-steering gear drives power;

C_3 – TC cost dependence.

To establish the optimality point, we select the functional dependence C on elements x_1, x_2 of OCs calculated vector (7):

$$C(l_{TC}, T_x) = \beta_m \cdot m(T_x) + \beta_p \cdot m(T_x) + \beta_l \cdot l_{TC}$$

where $\beta_m, \beta_p, \beta_l$ are the coefficients of proportionality;

To establish the coefficients $\beta_m, \beta_p, \beta_l$, we use the calculation results performed using the TC mathematical model [18, 19].

Considering the nature of differential equations, we can distinguish

виділити закономірність
логарифмічного зростання показників:

$$f(T_x) = \delta_1 \cdot l_{KT} \cdot (T_x - \delta_2).$$

Умова неперервності включає в себе похідну $\frac{\partial x_2}{\partial x_1}$, тобто $\frac{\partial T_x}{\partial l_{KT}}$. З метою її розрахунку необхідно встановити залежність $T_x(l_{KT})$, яка визначається як

$$T_x(l_{KT}) = \gamma_0 + \gamma_1 \cdot (l_{KT} - l_y)^{-1} + \gamma_2 \cdot l_{KT} + \gamma_3 \cdot (l_{KT} - l_x)^2,$$

де $\gamma_0, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ – масштабні коефіцієнти;

l_y, l_x – будівельна та робоча довжина КТ відповідно.

Тоді вираз похідна буде мати вигляд

$$\frac{dT_x}{dl_{KT}} = -\gamma_1 \cdot (l_{KT} - l_y)^{-2} + \gamma_2 + 2 \cdot \gamma_3 \cdot (l_{KT} - l_x).$$

Функція Лагранжа буде мати вигляд

$$\begin{aligned} L &= C(l_{KT}, T_x) + \lambda \cdot W(l_{KT}) = \\ &= \beta_m \cdot m(T_x) + \beta_p(T_x) + \\ &+ l_{KT}(\beta_l + \lambda \cdot \alpha) - \alpha \cdot l_0. \end{aligned}$$

Умова оптимальності вибору експлуатаційних характеристик для побудованої функції Лагранжа набуде вигляду

the regularity of the logarithmic growth of indicators:

$$f(T_x) = \delta_1 \cdot l_{TC} \cdot (T_x - \delta_2).$$

The continuity condition includes the derivative $\frac{\partial x_2}{\partial x_1}$, that is $\frac{\partial T_x}{\partial l_{TC}}$. For the purposes of calculating it, it is necessary to establish the dependence $T_x(l_{TC})$, which is defined as

$$T_x(l_{TC}) = \gamma_0 + \gamma_1 \cdot (l_{TC} - l_y)^{-1} + \gamma_2 \cdot l_{TC} + \gamma_3 \cdot (l_{TC} - l_x)^2,$$

where $\gamma_0, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ – scaling (dimensional) coefficients;

l_y, l_x are the construction and working length of TC, respectively.

Then the expression derivative will have the form

$$\frac{dT_x}{dl_{TC}} = -\gamma_1 \cdot (l_{TC} - l_y)^{-2} + \gamma_2 + 2 \cdot \gamma_3 \cdot (l_{TC} - l_x).$$

The Lagrange function will have the form

$$\begin{aligned} L &= C(l_{TC}, T_x) + \lambda \cdot W(l_{TC}) = \\ &= \beta_m \cdot m(T_x) + \beta_p(T_x) + \\ &+ l_{TC}(\beta_l + \lambda \cdot \alpha) - \alpha \cdot l_0 \end{aligned}$$

The of condition optimal choice (selection) of operational characteristics for the constructed Lagrangian function will take the form

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial l_{KT}} = \beta_l + \lambda \cdot \alpha \\ \frac{\partial L}{\partial T_x} = \left(\frac{\beta_m \cdot \delta_{1m}}{T_x - \delta_{2m}} + \frac{\delta_{1p}}{T_x - \delta_{2p}} \right) \cdot \frac{dT_x}{dl_{KT}} \end{cases}$$

Для отримання оптимальних значень T_x та l_{KT} прирівнюємо до нуля відповідні похідні.

На підставі отриманих результатів, беручи до уваги, що КТ не є продукцією, яка виробляється серійно, відповідно до розробленої моделі (рис. 5), приймається рішення щодо виробника, використовуючи наступні критерії:

- можливість виготовлення КТ з необхідними характеристиками;
- досвід підприємства у виробництві продукції аналогічного типу;
- ціна КТ;
- термін та умови постачання КТ;
- наявність у виробника відповідних сертифікатів;
- надійність постачання.

Іншим важливим елементом, що визначає вартість проекту, є ціна приводів рушійно-кермового пристрою, яка може сягати до 20 відсотків. На підставі отриманого значення T_x виконується відбір постачальника приводів рушійно-кермового пристрою або приймається рішення про їх самостійну розробку та виготовлення.

У світі існує низка підприємств та дослідних виробництв, які виготовляють приводи для ЗМР. Тому критеріями для прийняття рішення будуть:

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial l_{TC}} = \beta_l + \lambda \cdot \alpha \\ \frac{\partial L}{\partial T_x} = \left(\frac{\beta_m \cdot \delta_{1m}}{T_x - \delta_{2m}} + \frac{\delta_{1p}}{T_x - \delta_{2p}} \right) \cdot \frac{dT_x}{dl_{TC}} \end{cases}$$

To obtain the optimal values T_x and l_{TC} , we equate the corresponding derivatives to zero.

Based on the obtained results, taking into account that TC is not a serially manufactured product, in accordance with the developed model (Fig. 5), the manufacturer's decision is made using the following criteria:

- the possibility of manufacturing TC with the necessary characteristics;
- enterprise experience in the production of products of the same type;
- the cost of TC;
- terms and conditions of TC delivery;
- availability of manufacturer's relevant certificates;
- reliability of deliveries.

Another important element that determines the cost of a project is the price of the propulsion and steering gear, which can reach up to 20 percent. On the basis of the obtained value T_x , the choice of the supplier of the propulsion and steering gear is performed, or a decision is taken on their independent development and manufacture.

In the world, there are a number of enterprises and pilot productions producing the drives (actuators) for MRE. Therefore, the criteria for making a decision will be:

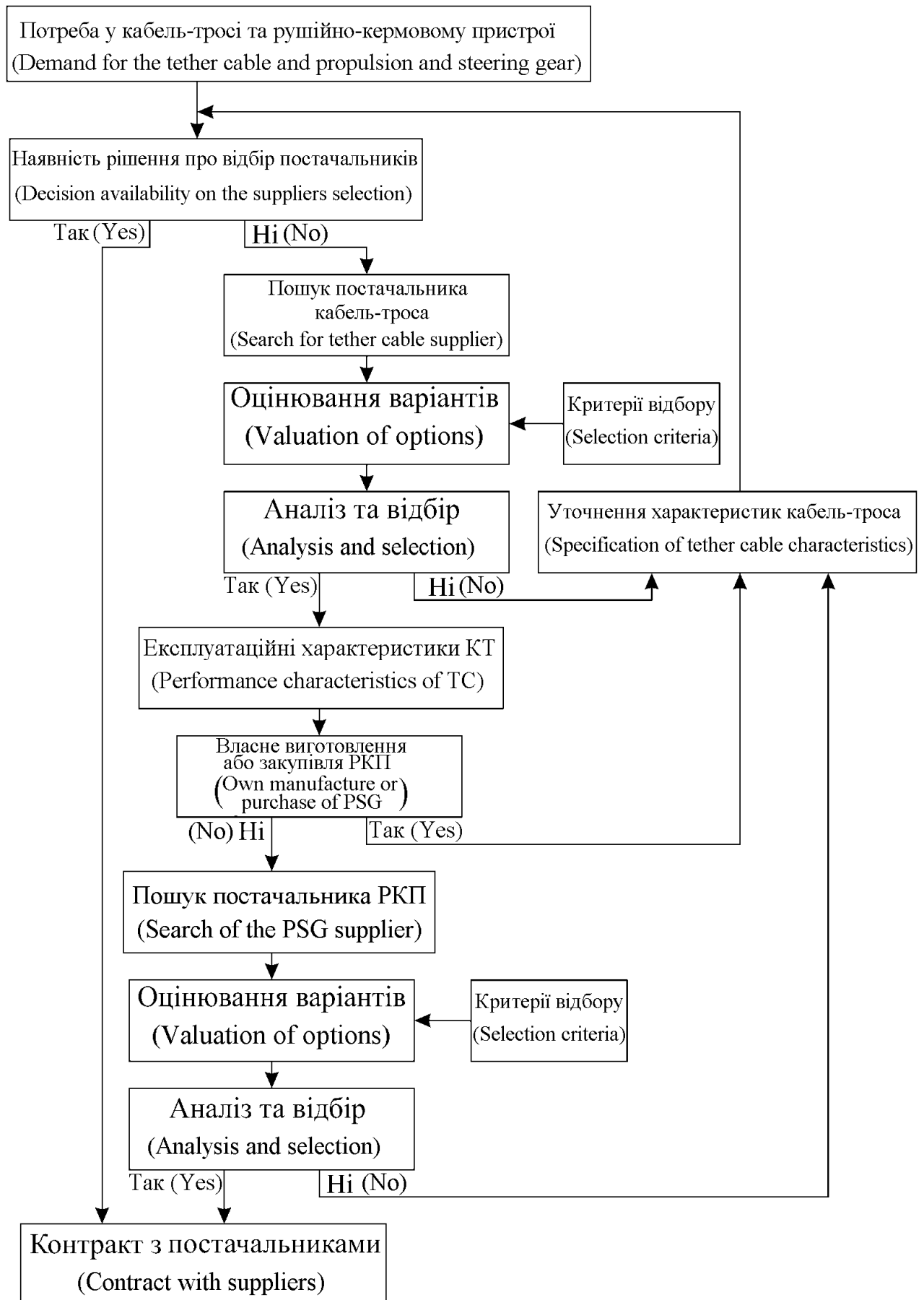


Рисунок 5 – Модель процесів вибору співвиконавця проекту
Figure 5 –Selection processes model of a project collaborator

- максимальний упор приводу;
- електричні характеристики приводу;
- ціна приводу;
- термін та умови постачання приводу;
- наявність у виробника відповідних сертифікатів;
- надійність постачання.

Якщо жоден з постачальників не відповідає критеріям, менеджер проекту приймає рішення про включення робіт по конструюванню та виготовленню приводів рушійно-кермового пристрою в загальний перелік власних робіт по створенню ЗМР.

Отримані дані в подальшому будуть використані при розрахунку вартості засобів, необхідних для запуску виробництва ЗМР, C_m .

Показник витрат враховує витрати усіх видів ресурсів: трудових, фінансових та матеріальних. При проектуванні ЗМР, у зв'язку з великим обсягом наукоємних робіт, жорсткі обмеження термінів відсутні, тому доцільно всі елементи показника ресурсів, що витрачаються, виражати у ціннісному вимірі.

Оскільки показник ресурсів об'єднує витрати, які здійснюються в різний час та переслідують різні цілі, їх доцільно групувати, класифікувати за характером, призначенням та періодом здійснення. Зазвичай витрати групують відповідно до етапів життєвого циклу.

Загальна сума витрат

$$C = C_p + C_o + C_k + C_m ,$$

- maximum thrust on the drive;
- electric characteristics of the drive;
- the price of the drive;
- terms and conditions of delivery of the drive;
- availability of the appropriate certificates from the manufacturer;
- reliability of deliveries.

If none of the suppliers meets the criteria, the project manager decides to include works on the design and manufacture of drives for propulsion and steering gears in the general list of their own work on the MRE creation.

The obtained data will be used in the future when calculating the cost of the funds necessary to start the MRE production, C_f .

The cost indicator takes into account the costs of all types of resources: labor, financial and material. When designing the MRE, due to the large amount of high-tech work, there are no hard time limits, therefore it is expedient to express all elements of the resources indicator consumed in the value measurement.

Since the resource indicator combines costs that occur at different times and pursues different goals, they should be grouped, categorized according to their nature, purpose, and implementation period. Usually, expenses are grouped according to the life cycle stages.

Total expenditure

$$C = C_d + C_e + C_t + C_f ,$$

де C_p – вартість розробки ЗМР;

C_o – вартість обладнання для модернізації та розширення виробничих потужностей учасників проекту;

C_k – вартість підготовки кадрів;

C_m – вартість засобів, необхідних для виробництва ЗМР та виходу на плановий рівень.

Вартість розробки ЗМР поділяються на дві великі стадії – НДР та ДКР. У формуванні витрат на розробку ЗМР враховується, що сам процес розробки являє собою багатоетапну роботу, в ході якої виконується низка окремих НДР та ДКР як самим виконавцем, так і іншими організаціями за його замовленням.

До вартості розробки ЗМР включають:

1. Матеріали, основні й допоміжні, закупні напівфабрикати і вироби, з урахуванням транспортно-заготівельних витрат.

2. Витрати на установки, стенди, макети та інше обладнання, необхідне для розробки проекту або НДР та ДКР, що виконуються в забезпечення цього проекту, а також витрати на експлуатацію цього обладнання. У тому випадку, якщо обладнання створюється або купується тільки для одного проекту – НДР або ДКР, вартість його повністю відноситься на проект. В іншому випадку, до собівартості роботи включаються тільки амортизаційні відрахування.

3. Основна і додаткова заробітна плата науково-технічного персоналу і відрахування на соціальне страхування.

where C_d is the MRE development cost;

C_e – equipment cost for modernization and expansion of production capacity of project participants;

C_t is the cost of training;

C_f – the cost of the funds necessary for the MRE production and output at the planned level.

The MRE development cost is divided into two major stages – RDW and EDW. In the formation of the MRE development cost, it is taken into account that the development process itself is a multi-stage work, in which a number of individuals of RDWs and EDWs are carried out by the executor as well as by other organizations at his request.

The MRE development cost include:

1. Materials, basic and auxiliary, purchased semi-finished products and products, taking into account transportation and procurement costs.

2. The costs of installations, stands, mock-ups, and other equipment required for the development of a project, or research and development work undertaken in support of this project, as well as costs for the operation of this equipment. In the event that the equipment is created or acquired only for one project – RDW or EDW, its value is fully related to the project. Otherwise, only the depreciation costs are included in the work cost.

3. Basic and additional wages of scientific and technical personnel and deductions for social (provident) insurance.

4. Витрати на науково-технічну інформацію, включаючи ліцензії та патенти, придбані за кордоном.

5. Оплата контрагентських робіт.

6. Інші витрати: оплата послуг інших організацій, витрати з оренди та ін.

7. Накладні витрати.

Частка витрат на розробку ЗМР не є фіксованою і залежить від багатьох факторів. Зокрема, при зростанні геометричних розмірів вона знижується, і навпаки – при зростанні складності ЗМР вона також зростає, при цьому витрати на розробку можуть перевищувати вартість побудови ЗМР.

Неоднаковість характеру фінансування, труднощі у виборі показника, який би переконливо характеризував конструктивну складність і новизну проекту, створює серйозні перешкоди в збиранні однорідного статистичного матеріалу, який міг би лягти в основу моделі витрат на розробку. Тому для прогнозування цієї техніко-економічної характеристики проектного об'єкта користуються орієнтовними оцінками, ставлячи її в залежність від вартості головного об'єкта:

$$C_p = C_{pd} + C_{pk} = k_p C_z,$$

де C_{pd} – вартість НДР;

C_{pk} – вартість ДКР;

C_z – вартість головного зразка;

k_p – коефіцієнт ступеня новизни та складності розробки, який визначається експертною оцінкою.

4. Costs for scientific and technical information, including licenses and patents purchased abroad.

5. Payment of counteragent works.

6. Other expenses: payment for services of other organizations, rent expenses, etc.

7. Overhead expenses.

The expense ratio of MRE development is not fixed and depends on many factors. In particular, with increasing geometric sizes, it decreases, and vice versa – as the complexity of the MRE increases, it also increases, while the development cost may exceed the MRE construction cost.

The disparity in the funding nature, the difficulty in choosing an indicator that would convincingly characterize the constructive complexity and novelty of the project, poses serious impediments to the collection of homogeneous statistical material that could form the basis of the development cost model. Therefore, to predict this technical and economic characteristics of the projected object, use approximate estimates, placing it in dependence on the value of the main object:

$$C_d = C_{dr} + C_{de} = k_d C_p,$$

where C_{dr} is the RDW cost;

C_{de} is the EDW cost;

C_p is cost of the the cost of the prototype;

k_d is coefficient of the development degree of novelty and complexity, which is determined by the expert assessment.

Вартість головного зразка ЗМР у загальному вигляді буде

$$C_e = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n,$$

де $x_1, \dots, x_n$ – експлуатаційні характеристики ЗМР;

$a_1, \dots, a_n$ – статистичні коефіцієнти, які залежать від особливостей ЗМР.

Припустимо, що у ході розв’язання задачі можна виготовити задану кінцеву продукцію в обсязі a^* , а обсяг продукції, що недостає, складає Δa . Тоді вектор розміру нових виробничих потужностей для забезпечення необхідного випуску продукції

$$\Delta p = Bq\Delta a,$$

де B – матриця коефіцієнтів повних витрат учасників проекту на виробництво продукції;

q – вектор пропорцій випуску кінцевої продукції.

Виконуючи перетворення рівнянь, які розглянуто у [20–22], виражаючи відношення вартості модернізації та розширення виробничої потужності на одиницю виробничої потужності i -го учасника проекту, обсяг обладнання, необхідний для модернізації та розширення виробничої потужності, можна розрахувати:

$$\Delta F_{ki} = \gamma_{ki} \Delta p_i, i \in M,$$

The cost of MRE main sample in general will be

$$C_p = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n,$$

where $x_1, \dots, x_n$ is the MRE operational characteristics;

$a_1, \dots, a_n$ – statistical coefficients, which depend on the MRE characteristics.

Suppose that in the course of solving the problem, it is possible to manufacture a given final product in volume a^* , and the volume of production lacking, amounts to Δa . Then the size vector of the of the new production capacity to ensure the necessary production output

$$\Delta p = Bq\Delta a,$$

where B is the total costs coefficients matrix of project participants for production;

q is the final products output proportions vector.

By performing the transformation of the equations discussed in [20–22], expressing the relation between the cost of modernization and the expansion of production capacity per unit of production capacity of the i -th project participant, the amount of equipment necessary for the modernization and expansion of production capacity can be calculated:

$$\Delta F_{ki} = \gamma_{ki} \Delta p_i, i \in M,$$

де γ_{ki} – матриця коефіцієнтів, які є часткою обладнання учасників проекту k у загальній вартості обладнання i -го учасника проекту;

M – матриця-вектор учасників проекту.

Враховуючи обсяг робіт, які необхідно виконати, вартість обладнання для модернізації та розширення виробничих потужностей учасників проекту

$$C_o = \sum_{r \in I_p} \sum_{k \in I_F} v_{rki}^c \Delta F_{ki},$$

де I_p – множина типів модернізацій;

I_F – множина підприємств, які виконують роботи по модернізації.

Вартість підготовки кадрів, потрібних для реалізації проекту кожним учасником i для комплектування груп обслуговуючого персоналу ЗМР, змінюється у залежності від потрібного завантаження виробничої потужності та динаміки підготовки і введення в експлуатацію готових виробів. Розрахунки виконуються за типовими методиками [20]. В основі моделі покладено алгоритм, викладений у [21].

З урахуванням специфіки та багатoproфільності потрібних кадрів, загальна вартість їх підготовки буде мати вигляд:

$$C_k = \sum_{m=1}^L w_{mi} d_{mi} \zeta_{mi},$$

де d_{mi} – час на підготовку кадрів за m -им фахом у i -го учасника проекту;

where γ_{ei} – coefficients matrix, which is the share of equipment of project participants k in the equipment total cost of the i -th project participant;

M – project participants matrix-vector.

Considering the amount of work that needs to be carried out, the equipment cost for upgrading and expanding the production capacity of the project participants

$$C_e = \sum_{r \in I_p} \sum_{e \in I_F} v_{rei}^c \Delta F_{ei},$$

where I_p is the set of types of modernization (upgrades);

I_F is the number of enterprises that carry out modernization work.

The cost of training required for the project implementation by each participant and for the staffing of the groups of MRE service personnel is changing, depending on the required loading of production capacity and the dynamics of preparation and commissioning of finished products. Calculations are performed according to standard methods [20]. The model is based on the algorithm outlined in [21].

Taking into account the specificity and the multidisciplinary of the required personnel, the total cost of their training will be:

$$C_t = \sum_{m=1}^L w_{mi} d_{mi} \zeta_{mi},$$

where d_{mi} is the time for training in the m -th specialty in the i -th project participant;

w_{mi} – вартість одного часу підготовки кадрів за m -им фахом у i -го учасника проекту;

ζ_{mi} – кількість кадрів, що готуються за m -им фахом у i -го учасника проекту.

Вартість засобів, необхідних для запуску виробництва ЗМР та виходу на плановий рівень виробництва, залежить від різних умов, у яких здійснюється діяльність учасників проекту. Алгоритм розрахунку коштів на кожному кроку за часом у ході реалізації проекту є типовим, та детально розглянуто у [21, 22]. При цьому враховується що учасники проекту здійснюють випуск лише одного типу продукції ЗМР.

Тоді загальна сума грошових коштів, які потрібні кожному учаснику проекту, буде:

$$C_m = \sum_{t=1}^{T_i} Z_i(t),$$

де T_i – час, потрібний i -му учаснику проекту на виробництво ЗМР;

Z_i – витрати i -го учасника проекту на виробництво ЗМР.

w_{mi} is the cost of one hour of training in the m -th specialty in the i -th project participant;

ζ_{mi} is the number of frames, prepared for the m -th specialty in the i -th project participant.

The cost of the funds required for the MRE production start-up and for reaching the planned production level depends on the different conditions in which the project participants activities are carried out. The algorithm for calculating funds at each time step in the course of project is typical, and is discussed in detail in [21, 22]. This takes into account that the project participants produce only one type of MRE products.

Then the total amount of money that every project participant needs will be:

$$C_m = \sum_{t=1}^{T_i} Z_i(t),$$

where T_i is the time required by the i -th participant in the project for the MRE production;

Z_i – expenses of the project i -th participant for MRE production.

4 ПЛАНУВАННЯ РОБІТ ПРОЕКТУ СТВОРЕННЯ ЗМР

4 PLANNING OF MRE CREATION PROJECT WORK

Структурна декомпозиція робіт проекту створення ЗМР є лише першим кроком у розв'язанні задачі по плануванню обсягів робіт. Вона дозволяє виконати оцінювання витрат та ресурсів по роботах проекту у цілому, проте інформацію про потрібний час, календарний термін виконання окремої роботи та розподіл у часі потреб у різних ресурсах не дає [23].

Для успішної реалізації проекту потрібно швидко опрацьовувати значні масиви інформації, що можливо при застосуванні сіткових та календарних графіків. Вони дають змогу оперативно оперувати параметрами часу, вартості та ресурсів. Використання цих інструментів дає низку переваг:

- визначити і наочно представити повний обсяг робіт у вигляді графіків;
- встановити обсяг ресурсів, час та вартість робіт, які можна реально досягти;
- виконати оцінювання бюджету проекту;
- контролювати хід виконання робіт та передбачати подальший перебіг подій;
- ефективно розподілити відповідальність між членами команди проекту;
- визначити критичні роботи, перемішувати ресурси, зменшувати ризики і невизначеність.

Відповідно до порядку виконання ДКР, мережева модель

Structural work decomposition of MRE creation project work is only the first step in solving the task of planning the work scope. It allows to make estimates of costs and resources for the project work as a whole, however, it does not provide information about the right time, the calendar period of the individual work and the needs for various resources distribution over time [23].

For the successful implementation of the project, it is necessary to quickly process large amounts of information, which is possible with the use of network and calendar schedules. They allow to quickly operate with parameters of time, cost and resources. Using these tools provides several advantages:

- to define and visualize the full work scope in the form of graphs;
- to determine the amount of resources, time and cost of work that can be really achieved;
- to perform project budget estimates;
- monitor the work progress and provide for the further course of events;
- effectively distribute responsibilities among project team members;
- identify critical work, transfer resources, reduce risks and uncertainty.

In accordance with the procedure for the MRE implementation, the life

життєвого циклу створення ЗМР буде мати вигляд, що зображений на рис. 6 – рис. 8.

cycle network model of the MRE creation will have the form shown in Fig. Fig. 6 – Fig. Fig. 8.

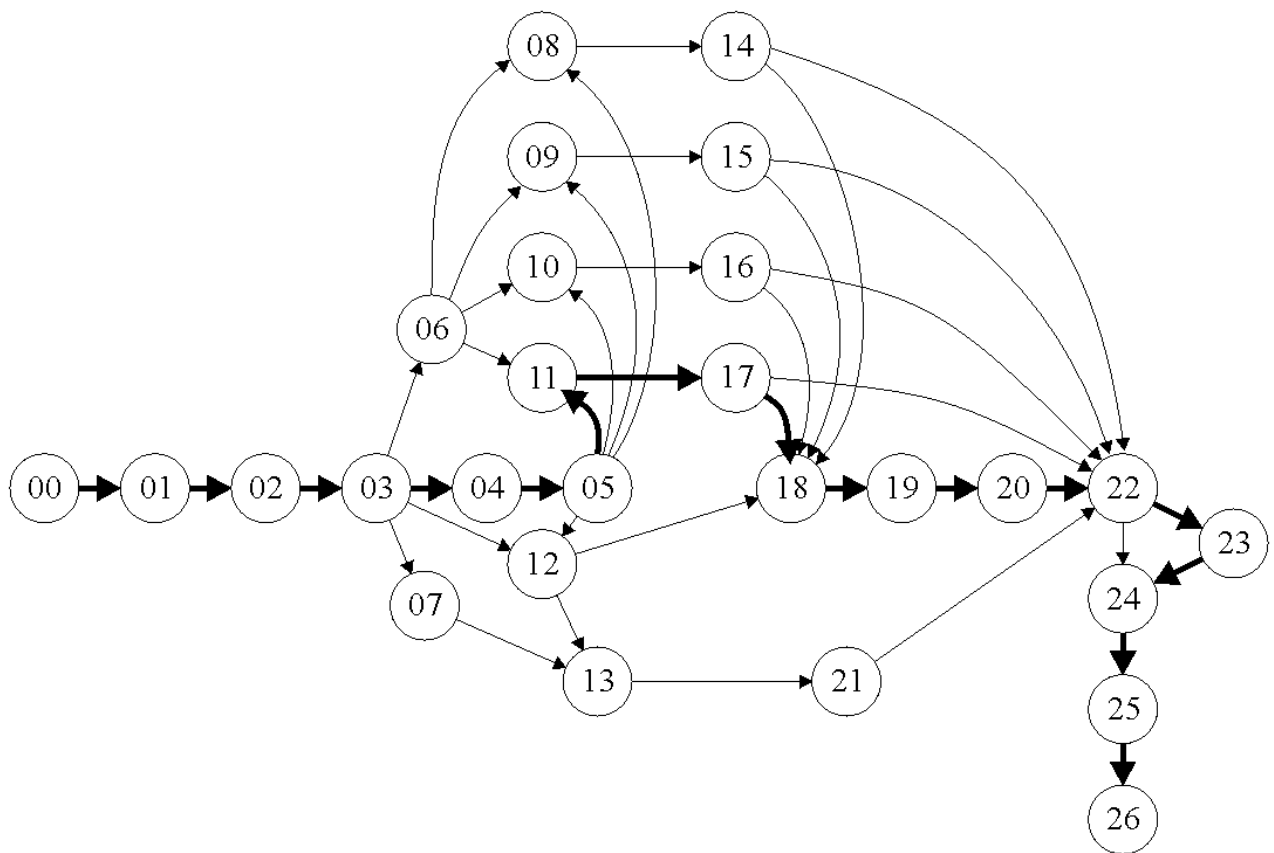


Рисунок 6 – Граф робіт з ескізного проектування
Figure 6 – Graph of works for sketch design

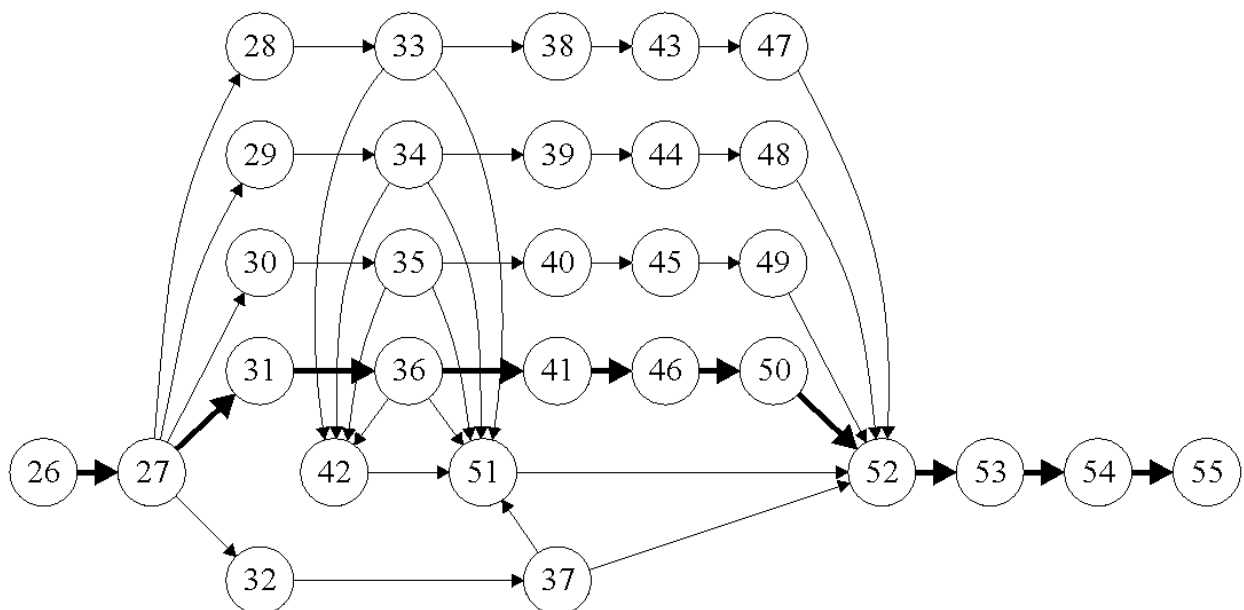


Рисунок 7 – Граф робіт з технічного проектування
Figure 7 – Graph of works for technical design

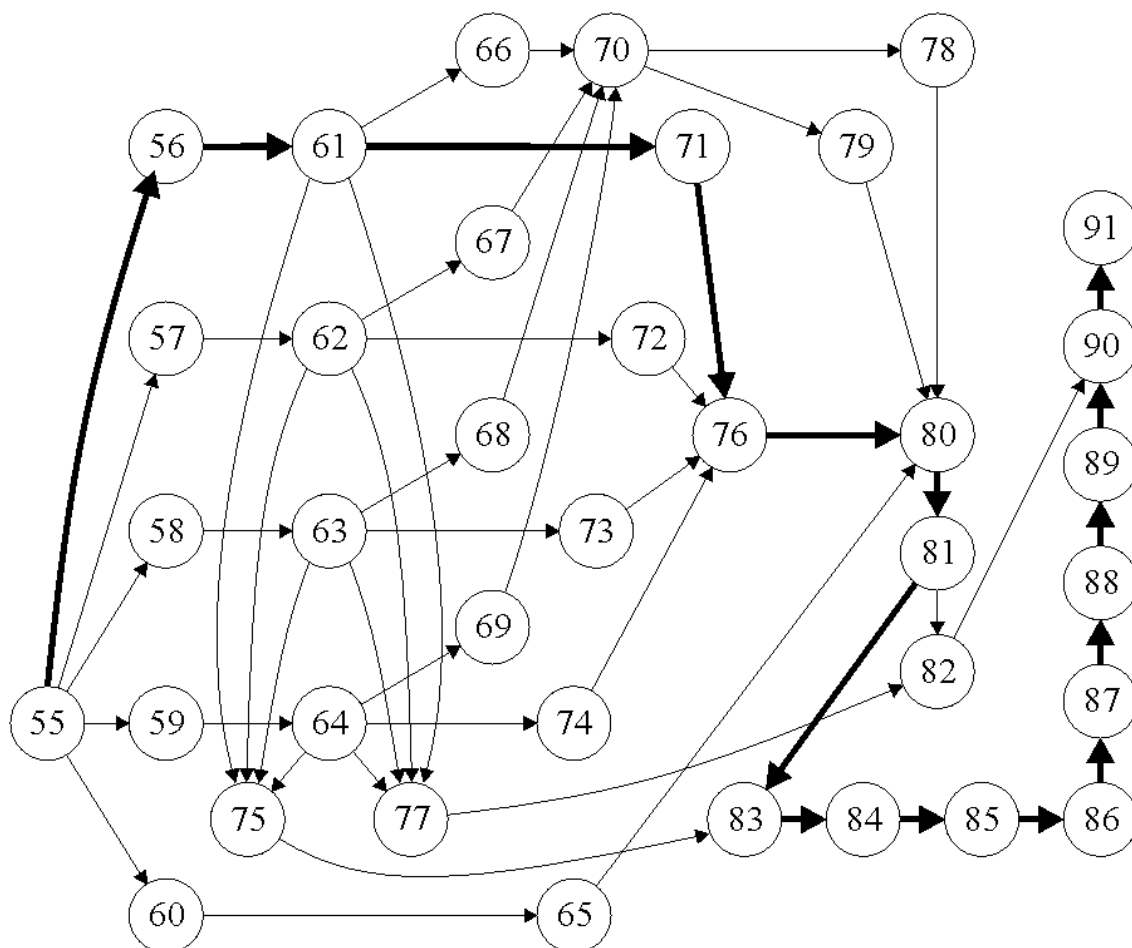


Рисунок 8 – Граф розробки РКД, виготовлення та попередніх випробувань дослідного зразка

Figure 8 –Graph of WDD development, manufacture and the prototype preliminary tests

Перелік подій та робіт мережеских графів наведені у Додатку А.

Для більшості робіт, пов'язаних зі створенням ЗМР, тривалість виконання робіт носить невизначений характер і для оцінки часу її виконання застосовують методи математичної статистики [24–30]. Тривалість роботи вважається випадковою величиною, підпорядкованою певному закону розподілу, і очікуваний час її виконання $\bar{t}_{ij}$ і дисперсія σ_{ij}^2 розраховуються за певними апроксимуючими формулами на підставі експертних оцінок, отриманих від відповідальних виконавців робіт.

The list of events and network graphs works is given in Appendix A.

For most of the work related to MRE creation, the work duration is uncertain, and methods of mathematical statistics are used to assess the timing of its execution [24-30]. The work duration is considered to be a random variable subordinated to a certain distribution law, and the expected time of its implementation $\bar{t}_{ij}$ and variance σ_{ij}^2 are calculated by certain approximation formulas based on expert estimates obtained from the responsible work executors.

Розрахована таким чином тривалість виконання роботи ϵ , з відомим наближенням, математичним очікуванням часу її виконання як випадкової величини, підпорядкованої ухваленому закону її розподілу.

Для визначення числових характеристик $\bar{t}_{ij}$ і σ_{ij}^2 роботи P_{ij} на підставі опитування відповідальних виконавців проекту і експертів визначаємо три тимчасові оцінки:

- оптимістичний час (a);
- найбільш імовірний час (m);
- песимістичний час (b).

На підставі цих оцінок виконуємо розрахунок щодо найбільш імовірного часу на виконання роботи і, відображаючи невизначеність, пропонуємо кращий і гірший варіант оцінки часу. Отримуємо значення очікуваної тривалості операції

$$\bar{t}_{ij} = \frac{a + 4 \cdot m + b}{6}, \quad (8)$$

та дисперсію оцінювання часу робіт

$$\sigma_{ij}^2 = \left(\frac{b - a}{6} \right)^2. \quad (9)$$

Значення оцінок часу та результатів розрахунків за виразами (8) і (9) наведені у табл. А.1.

Треба підкреслити, що тривалість кожної роботи цілком залежить від того, який вид ЗМР створюється в рамках ДКР. Розрахунок виконано на прикладі створення легкого прив'язного ЗМР.

Calculated in this way, the work duration is, with a known approximation, the expectation of the time it is performed as a random variable subject to the of its distribution official law.

To determine the numerical characteristics $\bar{t}_{ij}$ and σ_{ij}^2 of work P_{ij} , based on a survey of the responsible project executors and experts, we determine three time estimates:

- optimistic time (a);
- most likely time (m);
- pessimistic time (b).

Based on these estimates, we carry out the calculation of the most likely time to complete the work and, reflecting the uncertainty, we offer the best and the worst version of the time estimate. We get the value of the expected duration of the operation

$$\bar{t}_{ij} = \frac{a + 4 \cdot m + b}{6}, \quad (8)$$

and the dispersion of the work time estimation

$$\sigma_{ij}^2 = \left(\frac{b - a}{6} \right)^2. \quad (9)$$

The value of time estimates and calculation results for expressions (8) and (9) are given in Table. A.1.

It should be emphasized that the duration of each work completely depends on what type of MRE is created within the EDW framework. The calculation is made on the example of a light-tethered MRE creation.

Загальна тривалість кожного шляху має нормальний закон розподілу з середнім значенням $\bar{t}_{ij}(L)$, рівним сумі середніх значень тривалості складових його робіт, і дисперсією, рівною сумі відповідних дисперсій (табл. А.2 – табл. А.4):

$$\bar{t}(L) = \sum_{P_{ij} \in L} \bar{t}_{ij}, \quad (10)$$

$$\sigma^2(L) = \sum_{P_{ij} \in L} \sigma_{ij}^2. \quad (11)$$

Відповідно до отриманих результатів маємо критичний шлях ОКР $t_{кр} = 1086,33$ днів.

Для оцінювання ймовірності того, що строк виконання ОКР не перевищить директивний строк T , отримуємо

$$P(t_{кр} \leq T) = \Phi\left(\frac{T - t_{кр}}{\sigma_{кр}}\right), \quad (12)$$

де $\Phi\left(\frac{T - t_{кр}}{\sigma_{кр}}\right)$ – значення інтегралу ймовірності Лапласа;

$\sigma_{кр} = \sqrt{\sigma_{кр}^2}$ – середнє квадратичне відхилення довжини критичного шляху.

Беручи до уваги, що значення директивного строку $T = 1100$ днів, отримуємо:

$$P(t_{кр} \leq T) = \Phi\left(\frac{1100 - 1086,33}{10,09}\right) = 0,91.$$

Відповідно до отриманого значення $P(t_{кр} \leq T)$ з достатньою

The total duration of each path has a normal distribution law with an average value $\bar{t}_{ij}(L)$ equal to the sum of the duration mean values of its component parts and a dispersion equal to the sum of the corresponding dispersions (Table A.2 – Table A.4):

$$\bar{t}(L) = \sum_{P_{ij} \in L} \bar{t}_{ij}, \quad (10)$$

$$\sigma^2(L) = \sum_{P_{ij} \in L} \sigma_{ij}^2. \quad (11)$$

According to the obtained results, we have MRE critical path $t_{кр} = 1086,33$ days.

To assess the likelihood that the deadline for MRE execution will not exceed the schedule time T , we have

$$P(t_{кр} \leq T) = \Phi\left(\frac{T - t_{кр}}{\sigma_{кр}}\right), \quad (12)$$

where $\Phi\left(\frac{T - t_{кр}}{\sigma_{кр}}\right)$ is the integral value of the Laplace probability;

$\sigma_{кр} = \sqrt{\sigma_{кр}^2}$ is the mean square deviation of the critical path length.

Taking into account that the value of the directive deadline $T = 1100$ days, we get:

$$P(t_{кр} \leq T) = \Phi\left(\frac{1100 - 1086,33}{10,09}\right) = 0,91.$$

According to the obtained value $P(t_{кр} \leq T)$ with a sufficient degree of

мірою надійності можна прогнозувати виконання проекту у встановлений термін.

Визначення за допомогою сіткових графіків критичного шляху і тривалості виконання робіт інколи показує, що обчислені терміни перевищують планові завдання. Виникає потреба скорочення окремих робіт для забезпечення запланованого строку виконання проекту створення ЗМР.

Складність мережевого графіка оцінюється коефіцієнтом складності, який визначається за формулою

$$K_{\text{ск}} = \frac{n_{\text{роб}}}{n_{\text{под}}},$$

де $n_{\text{роб}}$ – кількість робіт;

$n_{\text{под}}$ – кількість подій.

Враховуючи, що $n_{\text{под}} = 92$ та $n_{\text{роб}} = 138$ отримуємо $K_{\text{ск}} = 1,5$.

Таким чином, мережевий граф відноситься до простих графів.

reliability, it is possible to predict the project implementation within the set time.

The determination of the critical path and duration of work with the help of network graphs sometimes shows that the calculated timeframes exceed the planned targets. There is a need to reduce individual work to ensure the planned implementation period of the MRE creation project.

The complexity of the network schedule is estimated by the complexity factor, which is determined by the formula

$$K_{\text{com}} = \frac{n_{\text{wrk}}}{n_{\text{evt}}},$$

where n_{wrk} is the number of works;

n_{evt} is the number of events.

Considering that $n_{\text{evt}} = 92$ and $n_{\text{wrk}} = 138$ what we get $K_{\text{com}} = 1,5$.

Thus, the network graph refers to simple graphs.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

REFERENCES

1. Мильнер, Б. З. Теория организации [Текст]: учебник / Борис Захарович Мильнер. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : ИНФРА-М, 2000. – 480 с.
2. Монастирський, Г. Л. Теорія організації [Текст] : підручник / Г. Л. Монастирський. – Тернопіль : ТНЕУ, 2014. – 288 с.
3. Адизес, И. Управление жизненным циклом корпорации [Текст] / И. Адизес / пер. с англ.; под ред. А. Г. Сеферяна. – СПб. : Питер, 2007. – 384 с.
4. Руководство к Своду знаний по управлению проектами (Руководство PMBOK®). Пятое издание. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://drm.pmi.org/Default.aspx?doc=PMBOKGuideFifthEd.pdf>.
5. Илларионов, Г. Ю. Противоминные необитаемые подводные аппараты [Текст] : монография / Г. Ю. Илларионов, В. В. Сидоренков, А. С. Потапов. – Владивосток : Изд-во Дальневост. ун-та, 1991. – 118 с.
6. Илларионов, Г. Ю. Подводные роботы в минной войне [Текст] : монография / Г. Ю. Илларионов, К. С. Сиденко, В. В. Сидоренко. – Калининград : Янтар. сказ, 2008 (Калининград). – 116 с.
7. Бушуев, С. Д. Управление проектами: Основы профессиональных знаний и система оценки компетентности проектных менеджеров [Текст] / С. Д. Бушуев, Н. С. Бушуева ; Украинская ассоциация управления проектами. – К. : ІРІДІУМ, 2006. – 208 с.: табл. – (National Competence Baseline, NCB UA Version 3.0).
8. Бабкін, Г. В. Структурна модель предметної області проекту створення морських комплексів для знешкодження підводних потенційно небезпечних об'єктів [Текст] / Г. В. Бабкін // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв, 2007. – №2(413). – С.162–168.
9. Бабкін, Г. В. Управління предметною областю проекту створення морських комплексів для знешкодження підводних потенційно небезпечних об'єктів [Текст] / Г. В. Бабкін, В. С. Блінцов // Зб. наук, праць НУК. – Миколаїв, 2007. – № 1(412). – С. 149–154.
10. Любушин, Н. П. Комплексный экономический анализ хозяйственной деятельности [Текст]: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальностям 060500 «Бухгалтерский учет, анализ» и 060400 «Финансы и кредит» / Н. П. Любушин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2006. – 448 с.
11. Дитхелм, Г. Управление проектами [Текст]: в 2 т. Т.2. Особенности / Герд Дитхелм; перевод с нем. – СПб. : Издательский Дом «Бизнес-Пресса», 2004. – 400 с.

12. Блинцов, В. С. Современные проблемы создания электрооборудования и автоматики подводных аппаратов [Текст] / В. С. Блинцов // Національний аерокосмічний університет ім. М.Є.Жуковського «Харківський авіаційний інститут» // Радіоелектронні і комп'ютерні системи: науково-технічний журнал. – Харків : НАУ ХАУ, 2007. – № 5(24). – С. 90–98.
13. Бабкин, Г. В. Обобщенный алгоритм модульного проектирования привязных подводных систем [Текст] / Г. В. Бабкин // Кораблебудування: освіта, наука, виробництво: Матеріали міжнар. конф. 100-річчю кораблебудівної освіти в Україні присвячується. – Миколаїв : УДМТУ. – 2002. – С. 26–28.
14. Babkin, G. Modular construction approach of double-link tethered underwater systems with a deflecting buoy [Text] : Fifth international conference on unconventional electromechanical and electrical systems UEES'01 / Georgy Babkin. – Szczecin and Miedzyzdroje, Poland: Technical University of Szczecin. – 2001. – Volume 2 С. 419–422.
15. Бабкін, Г. В. Математичне моделювання функціонування організаційної структури спеціалізованого підприємства по знешкодженню ППНО [Текст] / Г. В. Бабкін // Управління розвитком складних систем: зб. наук. пр. – К. : КНУБА, 2015. – Вип. 22. – С. 19-25.
16. Бабкін, Г. В. Математичне моделювання проекту створення засобів морської робототехніки для знешкодженню ППНО [Текст] / Г. В. Бабкін // Сучасні проблеми автоматики та електротехніки: Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції з міжнародною участю. – Миколаїв : НУК, 2015. – С.37–39.
17. Бреслав, Л. Б. Технико-экономическое обоснование средств освоения Мирового океана [Текст] /Л. Б. Бреслав. – Л. : Судостроение, 1982 (Техника освоения океана). – 240 с.
18. Блінцов, О. В. Математичні моделі кабель-троса для задач синтезу систем автоматичного керування прив'язними підводними апаратами [Текст] // «Автоматика–2013»: Матеріали XX Міжнародної конференції з автоматичного управління. – Миколаїв: НУК, 2013. – С. 275.
19. Блінцов, О. В. Синтез інверсної математичної моделі кабель-троса як складової системи керування рухом прив'язного підводного апарата [Текст] // «Комп'ютерні науки та інформаційні технології»: Матеріали III-ї Міжнародної конференції. – Львів : ПП «Вежа і Ко», 2008. – С. 357–359.
20. Давнис, В. В. Адаптивные модели: анализ и прогноз в экономических системах [Текст] : монография / В. В. Давнис, В. И. Тинякова. – Воронеж : Воронеж. гос. ун-т, 2006 (Воронеж) . – 353 с.

21. Романов, Б. А. Математическая модель реализации предприятиями инвестиционного производственного проекта [Текст] / Б. А. Романов. – М. : РИОР, 2010. – 330 с.
22. Романов, Б. А. Математическая модель реализации производственного проекта группой предприятий // Аудит и финансовый анализ 2.2007 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.auditfin.com/fin/2007/2/Romanov/Romanov%20.pdf>.
23. Бабкин, Г. В. Сетевая модель управления проектом создания морских комплексов для обезвреживания подводных потенциально опасных объектов [Текст] / Г. В. Бабкин // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – Харьков, 2007. – 3/6(27). – С. 7–9.
24. Бабкін, Г. В. Аналіз сіткового графіку проекту створення засобів морської робототехніки для знешкодження підводних потенційно небезпечних об'єктів [Текст] / Г. В. Бабкін // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: Матеріали VI міжнародної науково-технічної конференції. – Миколаїв : НУК, 2014. – С.377–378.
25. Гольдштейн, Г. Я. Инновационный менеджмент [Электронная версия]: учебное пособие/ Г. Я. Гольдштейн. – Таганрог : Изд-во ТРТУ, 1998. – 132 с. – Режим доступа: <http://www.aup.ru>.
26. Гольдштейн, Г. Я. Маркетинг [Электронная версия]: учебное пособие для магистрантов / Г. Я. Гольдштейн, А. В. Катаев. – Таганрог : Изд-во ТРТУ, 1999. – 107 с. – Режим доступа: <http://www.aup.ru/files/m21/m21.pdf>.
27. Гольдштейн, Г. Я. Основы менеджмента [Электронная версия]: учебное пособие, изд. 2-е, дополненное и переработанное / Г. Я. Гольдштейн. – Таганрог : Изд-во ТРТУ, 2003. – Режим доступа: <http://www.aup.ru/files/m77/m77.pdf>.
28. Гольдштейн, Г. Я. Стратегический инновационный менеджмент [Электронная версия]: учебное пособие / Г. Я. Гольдштейн. – Таганрог : Изд-во ТРТУ, 2004. – 267 с. – Режим доступа: <http://www.aup.ru/files/m92/m92.pdf>.
29. Гольдштейн, Г. Я. Стратегический инновационный менеджмент: тенденции, технологии, практика [Электронная версия]: монографія / Г. Я. Гольдштейн. – Таганрог : Изд-во ТРТУ, 2002. – 179с. – Режим доступа: <http://www.aup.ru>.
30. Гольдштейн, Г. Я. Стратегический менеджмент [Электронная версия]: учебное пособие, изд. 2-е, доп./ Г. Я. Гольдштейн. – Таганрог : Изд-во ТРТУ, 2003. – 94 с. – Режим доступа: <http://www.aup.ru>.

ДОДАТОК А
ПЕРЕЛІК ПОДІЙ, РОБІТ ТА РЕЗУЛЬТАТІВ РОЗРАХУНКУ
ПАРАМЕТРІВ МЕРЕЖЕВОГО ГРАФА ВИКОНАННЯ ДКР

APPENDIX A
LIST OF EVENTS, WORKS AND RESULTS OF NETWORK GRAPH
PARAMETERS CALCULATION OF EDW IMPLEMENTATION

A.1 Перелік подій по мережевому графу виконання ДКР

A.1 List of events on the EDW implementation network graph

00 –	замовлення на створення ЗМР отримано	MRE creation order received
01 –	ТЗ (ТТЗ) на створення ЗМР узгоджено	TS (TTS) on the MRE creation is agreed
02 –	оцінювання вартості виконання ДКР виконано	assessment of the MRE implementation cost is completed
03 –	державний контракт (договір) на створення ЗМР укладено	the government contract (agreement) on MRE creation is concluded
04 –	графік робіт складено	the work schedule is compiled
05 –	плани спільних робіт узгоджені та затверджені	plans of joint works are agreed and approved
06 –	ЧТЗ на складові ЗМР розроблені	PRS on MRE components are developed
07 –	перелік співвиконавців визначено	the list of collaborators (co- executors) is established
08 –	ЧТЗ відділу електроніки видано	PRS of electronics department issued
09 –	ЧТЗ відділу силової електроніки видано	PRS of power electronics department issued
10 –	ЧТЗ відділу механічних систем видано	PRS of department of mechanical systems issued
11 –	ЧТЗ відділу корпусних конструкцій видано	PRS of department of hull designs issued
12 –	договори з співвиконавцями укладені	agreements with collaborators concluded
13 –	ЧТЗ на роботи співвиконавців узгоджені	PRS on the work of collaborators agreed
14 –	структурні та функціональні схеми електроніки розроблені	Structural and functional electronic circuits developed

15 –	структурні та функціональні схеми силових електроніки розроблені	Structural and functional power electronics circuits are developed
16 –	концепцію будівництва механічних систем розроблено	the concept of the construction of mechanical systems is developed
17 –	концепцію будівництва корпусних конструкцій розроблено	the concept of construction of hull design is developed
18 –	комплексні, структурні та функціональні схеми розроблені	complex, structural and functional schemes are developed
19 –	вибір елементів та комплектуючих виконано	the selection of elements and components is completed
20 –	розрахунки основних технічних параметрів елементів ЗМР виконані	calculations of the basic technical parameters of the MRE elements are fulfilled
21 –	роботи співвиконавців завершені	works of the collaborators are completed
22 –	дані по ескізного проектуванню окремих систем отримані	data on the sketch design of individual systems received
23 –	метрологічну експертизу завершено	metrological examination completed
24 –	пропозиції по уточненню вимог ТЗ (ТТЗ) розроблені	proposals for clarification of the requirements of the TS (TTS) are developed
25 –	ескізний проект підготовлено до захисту	sketch project prepared for protection
26 –	ескізний проект прийнято комісією	sketch project accepted by the commission
27 –	уточнення вимог ТЗ (ТТЗ) за результатами приймання ескізного проекту	requirements of TS (TTS) clarification on the sketch project adoption results
28 –	уточнене ЧТЗ відділу електроніки видано	the clarified PRS of the electronics department is issued
29 –	уточнене ЧТЗ відділу силових електроніки видано	clarified PRS of power electronics department issued
30 –	уточнене ЧТЗ відділу механічних систем видано	clarified PRS of mechanical systems department is issued
31 –	уточнене ЧТЗ відділу корпусних конструкцій видано	clarified PRS of department of hull designs is issued
32 –	уточнене ЧТЗ співвиконавцям видано	clarified PRS to collaborators is issued
33 –	принципові схеми електроніки розроблені	electronics circuit diagrams developed

34 –	принципові схеми сигової електроніки розроблені	power electronics circuit diagrams developed
35 –	конструкторську компоновку механічних систем виконано	the design layout of the mechanical systems is fulfilled
36 –	конструкторську компоновку корпусних конструкцій виконано	the design layout of the hull designs is made
37 –	роботи співвиконавців по технічному проекту виконані	the work of the collaborators on the technical project is executed
38 –	макети електроніки розроблені	electronics layouts are developed
39 –	макети сигової електроніки розроблені	power electronics layouts are designed
40 –	макети механічних систем розроблені	mechanical systems prototypes are developed
41 –	макети корпусних конструкцій розроблені	hull designs layouts are developed
42 –	дані для розміщення на судні-носії підготовлені	data for placement on the carrier vessel is prepared
43 –	макети електроніки виготовлені	electronics layouts are made
44 –	макети сигової електроніки виготовлені	power electronics layouts are made
45 –	макети механічних систем виготовлені	mechanical systems layouts are made
46 –	макети корпусних конструкцій виготовлені	hull designs layouts are made
47 –	натурні випробування макетів електроніки виконані	full-scale (field) tests of electronics models are executed
48 –	натурні випробування макетів сигової електроніки виконані	full-scale tests of power electronics models are executed
49 –	натурні випробування макетів механічних систем виконані	full-scale tests of mechanical systems models are executed
50 –	натурні випробування макетів корпусних конструкцій виконані	full-scale tests of hull designs are executed
51 –	проекти технічних умов (ТУ) на постачання розроблені	projects of technical conditions (TeC) for delivery are developed
52 –	документацію технічного проекту розроблено	technical project documentation is developed
53 –	метрологічну експертизу технічного проекту завершено	the metrological examination of the technical project is completed
54 –	технічний проект підготовлено до захисту	technical project is prepared for protection

55 –	технічний проект прийнято комісією	the technical project was adopted by the commission
56 –	корегування документації на електроніку за результатами приймання завершено	adjustment of electronics documentation according to the acceptance results is completed
57 –	корегування документації на силову електроніку за результатами приймання завершено	adjustment of power electronics documentation based on acceptance results is completed
58 –	корегування документації на механічні системи за результатами приймання завершено	the adjustment of documentation for mechanical systems according to the acceptance results is completed
59 –	корегування документації на корпусні конструкції за результатами приймання завершено	documentation correction on the hull design according to the acceptance results is completed
60 –	корегування документації співвиконавців за результатами приймання завершено	documentation correction of collaborators on the acceptance results is completed
61 –	розробку КД на електроніку завершено	the DD development of electronics engineering is completed
62 –	розробку КД на силову електроніку завершено	the DD development on power electronics is completed
63 –	розробку КД на механічні системи завершено	the DD development of mechanical engineering systems is completed
64 –	розробку КД на корпусні конструкції завершено	the DD development on the hull design is completed
65 –	розробку КД співвиконавцями завершено	the DD development by the collaborators is completed
66 –	КД на електроніку узгоджено з виробництвом	DD on electronics is agreed with production
67 –	КД на силову електроніку узгоджено з виробництвом	DD on power electronics is agreed with the production
68 –	КД на механічні системи узгоджено з виробництвом	DD on mechanical systems is agreed with production
69 –	КД на корпусні конструкції узгоджено з виробництвом	DD on the hull design is agreed with the production
70 –	КД перевірено на технологічність, розроблено ТД	The DD was tested for manufacturability, TD was developed
71 –	матеріали та комплектуючі на електроніку придбані	materials and components for electronics purchased

72 –	матеріали та комплектуючі на силову електроніку придбані	materials and components for power electronics purchased
73 –	матеріали та комплектуючі на механічні системи придбані	materials and components for mechanical systems purchased
74 –	матеріали та комплектуючі на корпусні конструкції придбані	materials and components for hull designs purchased
75 –	розробку програми випробувань дослідного зразка завершено	development of the prototype test program is completed
76 –	матеріали та комплектуючі доставлені на виробництво	materials and components delivered to production
77 –	розробку програми випробувань на надійність завершено	the development of the reliability test program is completed
78 –	технологічне оснащення виробництва закінчено	technological equipment of production is finished
79 –	КД і ТД виробництвом отримано	DD and TD received by the production
80 –	дослідний зразок ЗМР виготовлено	MRE prototype is made
81 –	регулювання дослідного зразка завершено	the control of the prototype is complete
82 –	випробування на надійність завершено	the reliability test is complete
83 –	попередні випробування дослідного зразка завершено	preliminary test of the prototype is complete
84 –	дослідний зразок передано для монтажу на корабель	the prototype was transmitted for installation on the vessel
85 –	дослідний зразок на кораблі змонтований	the prototype is mounted on the vessel
86 –	регулювання дослідного зразка на кораблі завершено	the test pattern on the vessel is completed
87 –	попередні випробування у складі корабля завершено	the previous tests in the vessel have been completed
88 –	дослідний зразок пред'явлений на MBV у складі корабля	prototype is presented on the (IDT) within the vessel
89 –	MBV завершено	IDT completed
90 –	документацію за результатами MBV відкореговано	the documentation on the (IDT) results is corrected
91 –	документацію передано на серійне виробництво	the documentation is submitted for serial production

A.2 Перелік робіт по мережевому графу виконання ДКР

A.2 List of works on the EDW implementation network graph

00-01 –	розробка та погодження ТЗ (ТТЗ) з замовником	Development and approval of TS (TTS) with the customer
01-02 –	моделювання кабель-троса та розрахунок вартості ДКР	Tether-cable modeling and EDW cost calculation
02-03 –	підготовка та укладання угоди на створення ЗМР	Agreement preparation and conclusion on the MRE creation
03-04 –	складання графіка виконання ДКР	EDW work schedule
03-06 –	розробка ЧТЗ	PRS development
03-07 –	встановлення переліку співвиконавців	establishment of a list of collaborators
03-12 –	проробка результатів НДР, патентної та іншої інформації	processing of research results, patent and other information
04-05 –	розробка та затвердження плану робіт по підрозділах	development and approval of the work plan for subdivisions
06-08 –	видача ЧТЗ відділу електроніки	issue of electronics department PRS
06-09 –	видача ЧТЗ відділу силової електроніки	issuance of power electronics department PRS
06-10 –	видача ЧТЗ відділу механічних систем	issue of mechanical systems department PRS
06-11 –	видача ЧТЗ відділу корпусних конструкцій	issue of body structures department PRS
05-08 –	видача плану відділу електроніки	issue of electronics department plan
05-09 –	видача плану відділу силової електроніки	issue of the power electronics department plan
05-10 –	видача плану відділу механічних систем	issue of department of mechanical systems plan
05-11 –	видача плану відділу корпусних конструкцій	issue of department of body structures plan
08-14 –	розробка структурних та функціональних схем електроніки	development of structural and electronics functional circuits
09-15 –	розробка структурних та функціональних схем силової електроніки	development of structural and power electronics functional schemes
10-16 –	розробка концепції побудови механічних систем	development of the concept of mechanical systems construction
11-17 –	розробка концепції корпусних конструкцій	development of the concept of housing structures

05-12 –	видача плану співвиконавцям	issuance of a plan to collaborators
07-13 –	погодження ЧТЗ зі співвиконавцями	agreement of PRS with collaborators
12-13 –	укладання угод зі співвиконавцями	concluding transactions with collaborators
12-18 –	розробка структурних та функціональних схем ЗМР	development of MRE structural and functional schemes
14-18 –	пропозиції по матеріалах та комплектуючих відділом електроніки	propositions on materials and components by electronics department
15-18 –	пропозиції по матеріалах та комплектуючих відділом силовії електроніки	offers on materials and components by power electronics department
16-18 –	пропозиції по матеріалах та комплектуючих відділом механічних систем	proposals on materials and components by mechanical systems department
17-18 –	пропозиції по матеріалах та комплектуючих відділом корпусних конструкцій	proposals on materials and components by housing structures department
14-22 –	передача даних по ескізного проекту відділом електроніки	data transmission on the schematic project by the department of electronics
15-22 –	передача даних по ескізного проекту відділом силовії електроніки	data transmission on the sketch project by the department of power electronics
16-22 –	передача даних по ескізного проекту відділом механічних систем	data transmission on the sketch project by the department of mechanical systems
17-22 –	передача даних по ескізного проекту відділом корпусних конструкцій	data transmission on the sketch project by the body structures department
18-19 –	вибір постачальників матеріалів та комплектуючих	selection of suppliers of materials and components
19-20 –	розрахунки основних технічних параметрів	calculations of basic technical parameters
13-21 –	робота співвиконавців по ескізного проекту	work of collaborators on a schematic design
20-22 –	розробка звітної документації ескізного проекту	development of reporting documentation for schematic design

21-22 –	передача матеріалів ескізного проекту співвиконавцями	materials transfer of schematic project by the collaborators
22-23 –	метрологічна експертиза ескізного проекту	metrological examination of the schematic project
22-24 –	розробка пропозицій по уточненню ТЗ (ТТЗ)	proposals development for TS (TTS) clarification
23-24 –	оцінювання результатів метрологічної експертизи	metrological examination results evaluation
24-25 –	пред'явлення ескізного проекту до захисту	presentation of schematic design for protection
25-26 –	робота комісії по прийманню ескізного проекту	commission work for the schematic project adoption
26-27 –	уточнення вимог ТЗ (ТТЗ)	clarification of requirements of TS (TTS)
27-28 –	видача уточнених ЧТЗ відділу електроніки	issuance of refined PRS electronics department
27-29 –	видача уточнених ЧТЗ відділу силових електроніки	issuance of refined PRS power electronics department
27-30 –	видача уточнених ЧТЗ відділу механічних систем	issuance of refined PRS department of mechanical systems
27-31 –	видача уточнених ЧТЗ відділу корпусних конструкцій	issuance of refined PRS department of body constructions
27-32 –	видача уточнених ЧТЗ співвиконавцям	issuance of refined PRS to collaborators
28-33 –	розробка принципових схем відділом електроніки	development of basic schemes by the department of electronics
29-34 –	розробка принципових схем відділом силових електроніки	development of principle schemes by the department of power electronics
30-35 –	розробка конструкторської компоновки механічних систем	development of design layout of mechanical systems
31-36 –	розробка конструкторської компоновки корпусних конструкцій	development of design layout of body structures
33-42 –	розробка даних для розміщення на судні відділом електроніки	development of data placement on the vessel by the department of electronics
34-42 –	розробка даних для розміщення на судні відділом силових електроніки	development of data placement on a vessel by the department of power electronics

35-42 –	розробка даних для розміщення на судні відділом механічних систем	development of data placement on the vessel by the department of mechanical systems
36-42 –	розробка даних для розміщення на судні відділом корпусних конструкцій	development of data placement on the vessel by the department of body structures
33-51 –	видача даних у проект ТУ відділом електроніки	issuance of data to TC project by the department of Electronics
34-51 –	видача даних у проект ТУ відділом силової електроніки	issuance of data to TC project by the department of Power Electronics
35-51 –	видача даних у проект ТУ відділом механічних систем	issuance of data to TC project by the department of mechanical systems
36-51 –	видача даних у проект ТУ відділом корпусних конструкцій	issuance of data to the TC project by the body structures department
42-51 –	розробка даних для розміщення на кораблі ЗМР	development of data placement on the vessel by the Ministry of Health
32-37 –	роботи співвиконавців по технічному проекту	collaborators' work on technical project
37-51 –	видача даних у проект ТУ співвиконавцями	issuance of data to TC project by the collaborators
33-38 –	розробка макетів електроніки	development of electronics models
34-39 –	розробка макетів силової електроніки	development of power electronics models
35-40 –	розробка макетів механічних систем	development of mechanical systems models
36-41 –	розробка макетів корпусних конструкцій	development of hull constructions models
38-43 –	виготовлення макетів електроніки	manufacture of electronics models
39-44 –	виготовлення макетів силової електроніки	production of power electronics models
40-45 –	виготовлення макетів механічних систем	manufacture of models of mechanical systems
41-46 –	виготовлення макетів корпусних конструкцій	manufacture of hull constructions models
43-47 –	випробування макетів електроніки	testing of electronic models
44-48 –	випробування макетів силової електроніки	test of power electronics models
45-49 –	випробування макетів механічних систем	test of models of mechanical systems

46-50 –	випробування макетів корпусних конструкцій	test of models of hull designs
37-52 –	видача даних по технічному проекту співвиконавцями	issue of data on technical project by the collaborators
47-52 –	видача даних по технічному проекту відділом електроніки	issuance of technical project data by the department of electronics
48-52 –	видача даних по технічному проекту відділом силових електроніки	issuance of of technical project data by the department of power electronics
49-52 –	видача даних по технічному проекту відділом механічних систем	issue of of technical project data by the department of mechanical systems
50-52 –	видача даних по технічному проекту відділом корпусних конструкцій	issue of of technical project data by the department of body structures
51-52 –	погодження проекту розміщення ЗМР на судні	approval of MRE placement project on the vessel
52-53 –	метрологічна експертиза технічного проекту	metrological examination of the technical project
53-54 –	пред'явлення технічного проекту до захисту	presentation of technical design for protection
54-55 –	робота комісії по прийманню технічного проекту	work of the commission on acceptance of the technical project
55-56 –	корегування документації відділу електроніки за результатами приймання технічного проекту	correction of documentation of the electronics department based on the results of acceptance of the technical project
55-57 –	корегування документації відділу силових електроніки за результатами приймання технічного проекту	correction of documentation of the power electronics department based on the results of the adoption of the technical project
55-58 –	корегування документації відділу механічних систем за результатами приймання технічного проекту	correction of documentation of the mechanical systems department based on the results of the acceptance of the technical project
55-59 –	корегування документації відділу корпусних конструкцій за результатами приймання технічного проекту	correction of documentation of the body structures according to the results of the acceptance of the technical project

55-60 –	корегування документації співвиконавців за результатами приймання технічного проекту	correction of documentation of collaborators based on the results of acceptance of a technical project
56-61 –	розробка КД відділом електроніки	development of the DD by the department of electronics
57-62 –	розробка КД відділом силової електроніки	development of the DD by the department of power electronics
58-63 –	розробка КД відділом механічних систем	development of the DD by the department of mechanical systems
59-64 –	розробка КД відділом корпусних конструкцій	development of the DD by the body structures department
61-75 –	розробка даних для програми випробувань відділом електроніки	data development for the tests program by the department of electronics
62-75 –	розробка даних для програми випробувань відділом силової електроніки	data development for the test program by the department of power electronics
63-75 –	розробка даних для програми випробувань відділом механічних систем	data development for the test program by the department of mechanical systems
64-75 –	розробка даних для програми випробувань відділом корпусних конструкцій	data development for the test program by the department of body structures
61-77 –	розробка даних для програми випробувань на надійність відділом електроніки	data development for the tests program on the reliability of the department of electronics
62-77 –	розробка даних для програми випробувань на надійність відділом силової електроніки	data development for the tests program on the reliability of the department of power electronics
63-77 –	розробка даних для програми випробувань на надійність відділом механічних систем	data development for the tests program on the reliability of the department of mechanical systems
64-77 –	розробка даних для програми випробувань на надійність відділом корпусних конструкцій	data development for the tests program on the reliability of the department of body structures
61-71 –	закупівля матеріалів та комплектуючих для електроніки	purchase of materials and components for electronics
62-72 –	закупівля матеріалів та комплектуючих для силову електроніку	purchase of materials and components for power electronics

63-73 –	закупівля матеріалів та комплектуючих для механічних систем	procurement of materials and components for mechanical systems
64-74 –	закупівля матеріалів та комплектуючих для корпусних конструкцій	purchase of materials and components for hull constructions
61-66 –	погодження КД на електроніку з виробництвом	the approval of DD on electronics with production
62-67 –	погодження КД на силову електроніку з виробництвом	approval of a DD on power electronics with production
63-68 –	погодження КД на механічні системи з виробництвом	coordination of mechanical engineering with production systems
64-69 –	погодження КД на корпусні конструкції з виробництвом	DD coordination on the hull construction with production
66-70 –	перевірка КД електроніки на технологічність та розробка ТД	checking of electronics DD for manufacturability and development of TD
67-70 –	перевірка КД сигової електроніки на технологічність та розробка ТД	verification of the power electronics DD for manufacturability and development of TD
68-70 –	перевірка КД механічних систем на технологічність та розробка ТД	verification of mechanical engineering systems DD for manufacturability and development of TD
69-70 –	перевірка КД корпусних конструкцій на технологічність та розробка ТД	verification of the body structures DD for manufacturability and development of TD
70-78 –	розробка технологічного оснащення	development of technological equipment
70-79 –	передача КД та ТД на виробництво	transfer of DD and TD to production
71-76 –	постачання матеріалів та комплектуючих для електроніки	supply of materials and components for electronics
72-76 –	постачання матеріалів та комплектуючих для сигової електроніки	supply of materials and components for power electronics
73-76 –	постачання матеріалів та комплектуючих для механічних систем	supply of materials and components for mechanical systems

74-76 –	постачання матеріалів та комплектуючих для корпусних конструкцій	supply of materials and components for hull constructions
60-65 –	роботи співвиконавців по робочому проекту	collaborators work on the work project
65-80 –	виготовлення продукції співвиконавцями	products manufacture by the collaborators
76-80 –	виготовлення дослідного зразка	manufacture of a prototype
78-80 –	виготовлення технологічного оснащення	manufacture of technological equipment
79-80 –	розроблення маршрутно-технологічних карт	development of route and technological chart
80-81 –	регулювання систем дослідного зразка	system control of the prototype
81-82 –	випробування систем на надійність	systems testing for reliability
81-83 –	попередні випробування дослідного зразка	preliminary tests of the prototype
75-83 –	передача документації по випробуваннях	documentation transfer for tests
77-82 –	передача документації по випробуваннях на надійність	documentation transfer on reliability tests
83-84 –	передача дослідного зразка для монтажу на суднах	prototype transfer for installation on the vessel
84-85 –	монтаж дослідного зразка на судні	prototype installation on the vessel
85-86 –	регулювання систем дослідного зразка на судно	prototype system control on the vessel
86-87 –	попередні випробування дослідного зразка у складі систем судна	prototype preliminary tests in the vessel's systems
87-88 –	пред'явлення дослідного зразка у складі судна на MBV	prototype presentation in the vessel on the IDT
88-89 –	участь у MBV	participation in IDT
89-90 –	корегування КД за результатами MBV	adjustment of DDs by the IDT results
82-90 –	корегування КД за результатами випробувань на надійність	adjustment of DDs by the tests results on reliability
90-91 –	передача КД на серійне виробництво	DD transfer to serial production

Таблиця А.1 – Розрахунок параметрів часу робіт

Table A.1 – Calculation of work time parameters

Робота (Work) P_{ij}	Оцінка часу (Time estimate)			Очікуваний термін виконання (Expected deadline) t	Дисперсія роботи (Work dispersion) σ^2
	оптимістична (optimistic) a	найбільш імовірна (most likely) m	Песимістична (pessimistic) b		
00-01	10	12	15	12,17	0,69
01-02	5	8	11	8,00	1,00
02-03	22	24	26	24,00	0,44
03-04	22	24	26	24,00	0,44
03-06	22	24	28	24,33	1,00
03-07	10	19	22	18,00	4,00
03-12	22	24	25	23,83	0,25
04-05	32	34	38	34,33	1,00
06-08	1	1	2	1,17	0,03
06-09	1	1	2	1,17	0,03
06-10	1	1	2	1,17	0,03
06-11	1	1	2	1,17	0,03
05-08	1	1	2	1,17	0,03
05-09	1	1	2	1,17	0,03
05-10	1	1	2	1,17	0,03
05-11	1	1	2	1,17	0,03
08-14	22	30	32	29,00	2,78
09-15	22	30	32	29,00	2,78
10-16	40	44	50	44,33	2,78
11-17	44	46	47	45,83	0,25
05-12	1	1	2	1,17	0,03
07-13	22	26	30	26,00	1,78
12-13	22	24	26	24,00	0,44
12-18	28	39	45	38,17	8,03
14-18	1	4	5	3,67	0,44
15-18	1	4	5	3,67	0,44
16-18	1	4	5	3,67	0,44
17-18	1	4	5	3,67	0,44
14-22	5	8	10	7,83	0,69
15-22	5	8	10	7,83	0,69
16-22	10	19	22	18,00	4,00

Робота (Work) P_{ij}	Оцінка часу (Time estimate)			Очікуваний термін виконання (Expected deadline) t	Дисперсія роботи (Work dispersion) σ^2
	оптимістична (optimistic) a	найбільш імовірна (most likely) m	Песимістична (pessimistic) b		
17-22	10	19	22	18,00	4,00
18-19	12	14	18	14,33	1,00
19-20	22	24	26	24,00	0,44
13-21	40	43	50	43,67	2,78
20-22	22	26	28	25,67	1,00
21-22	10	12	14	12,00	0,44
22-23	20	21	22	21,00	0,11
22-24	10	19	22	18,00	4,00
23-24	5	8	10	7,83	0,69
24-25	8	10	12	10,00	0,44
25-26	1	2	4	2,17	0,25
26-27	5	6	8	6,17	0,25
27-28	1	5	6	4,50	0,69
27-29	1	5	6	4,50	0,69
27-30	1	5	6	4,50	0,69
27-31	1	5	6	4,50	0,69
27-32	2	4	5	3,83	0,25
28-33	44	50	52	49,33	1,78
29-34	46	50	54	50,00	1,78
30-35	42	45	50	45,33	1,78
31-36	55	60	63	59,67	1,78
33-42	5	13	15	12,00	2,78
34-42	5	13	15	12,00	2,78
35-42	5	12	12	10,83	1,36
36-42	24	30	32	29,33	1,78
33-51	2	4	5	3,83	0,25
34-51	2	4	5	3,83	0,25
35-51	8	11	12	10,67	0,44
36-51	8	10	11	9,83	0,25
42-51	22	26	27	25,50	0,69
32-37	55	64	65	62,67	2,78

Робота (Work) P_{ij}	Оцінка часу (Time estimate)			Очікуваний термін виконання (Expected deadline) t	Дисперсія роботи (Work dispersion) σ^2
	оптимістична (optimistic) a	найбільш імовірна (most likely) m	Песимістична (pessimistic) b		
37-51	5	8	12	8,17	1,36
33-38	16	18	22	18,33	1,00
34-39	16	20	22	19,67	1,00
35-40	12	13	23	14,50	3,36
36-41	15	17	22	17,50	1,36
38-43	21	30	32	28,83	3,36
39-44	22	30	32	29,00	2,78
40-45	22	26	30	26,00	1,78
41-46	30	34	35	33,50	0,69
43-47	18	22	24	21,67	1,00
44-48	18	22	24	21,67	1,00
45-49	15	22	25	21,33	2,78
46-50	20	22	30	23,00	2,78
37-52	22	26	30	26,00	1,78
47-52	10	19	22	18,00	4,00
48-52	10	19	22	18,00	4,00
49-52	12	19	22	18,33	2,78
50-52	16	20	22	19,67	1,00
51-52	5	11	15	10,67	2,78
52-53	18	21	22	20,67	0,44
53-54	10	13	15	12,83	0,69
54-55	1	2	4	2,17	0,25
55-56	5	15	18	13,83	4,69
55-57	5	15	18	13,83	4,69
55-58	8	15	16	14,00	1,78
55-59	10	15	18	14,67	1,78
55-60	12	15	22	15,67	2,78
56-61	70	75	80	75,00	2,78
57-62	80	86	90	85,67	2,78
58-63	62	64	68	64,33	1,00
59-64	98	107	110	106,00	4,00

Робота (Work) P_{ij}	Оцінка часу (Time estimate)			Очікуваний термін виконання (Expected deadline) t	Дисперсія роботи (Work dispersion) σ^2
	оптимістична (optimistic) a	найбільш імовірна (most likely) m	Песимістична (pessimistic) b		
61-75	5	11	14	10,50	2,25
62-75	5	10	14	9,83	2,25
63-75	5	10	12	9,50	1,36
64-75	5	11	14	10,50	2,25
61-77	5	11	12	10,17	1,36
62-77	5	11	12	10,17	1,36
63-77	5	11	12	10,17	1,36
64-77	5	11	12	10,17	1,36
61-71	10	22	24	20,33	5,44
62-72	10	22	24	20,33	5,44
63-73	10	22	25	20,50	6,25
64-74	10	22	25	20,50	6,25
61-66	1	2	4	2,17	0,25
62-67	1	2	4	2,17	0,25
63-68	2	4	6	4,00	0,44
64-69	3	4	6	4,17	0,25
66-70	18	22	24	21,67	1,00
67-70	16	22	24	21,33	1,78
68-70	20	28	30	27,00	2,78
69-70	30	34	35	33,50	0,69
70-78	18	22	24	21,67	1,00
70-79	16	19	22	19,00	1,00
71-76	120	129	150	131,00	25,00
72-76	22	37	40	35,00	9,00
73-76	50	60	64	59,00	5,44
74-76	18	22	23	21,50	0,69
60-65	33	43	45	41,67	4,00
65-80	35	43	50	42,83	6,25
76-80	75	86	90	84,83	6,25
78-80	18	22	24	21,67	1,00
79-80	12	22	23	20,50	3,36

Робота (Work) P_{ij}	Оцінка часу (Time estimate)			Очікуваний термін виконання (Expected deadline) t	Дисперсія роботи (Work dispersion) σ^2
	оптимістична (optimistic) a	найбільш імовірна (most likely) m	Песимістична (pessimistic) b		
80-81	16	22	24	21,33	1,78
81-82	18	22	30	22,67	4,00
81-83	14	22	28	21,67	5,44
75-83	10	15	18	14,67	1,78
77-82	12	15	18	15,00	1,00
83-84	14	21	22	20,00	1,78
84-85	13	22	26	21,17	4,69
85-86	15	22	24	21,17	2,25
86-87	22	36	40	34,33	9,00
87-88	10	13	15	12,83	0,69
88-89	60	64	66	63,67	1,00
89-90	50	62	70	61,33	11,11
82-90	50	62	75	62,17	17,36
90-91	22	26	30	26,00	1,78

Таблиця А.2 – Шляхи графа робіт по ескізного проектуванню

Table A.2 – Ways of work schedule on schematic design

	Шлях мережевого графа (Network graph path)	$\bar{t}(L)$	$\sigma^2(L)$
L_{01}	00-01-02-03-06-08-14-22-23-24-25-26	147,50	8,14
L_{02}	00-01-02-03-06-08-14-22-24-25-26	136,67	11,33
L_{03}	00-01-02-03-06-08-14-18-19-20-22-23-24-25-26	211,50	10,58
L_{04}	00-01-02-03-06-08-14-18-19-20-22-24-25-26	200,67	13,78
L_{05}	00-01-02-03-06-09-15-22-23-24-25-26	147,50	35,50
L_{06}	00-01-02-03-06-09-15-22-24-25-26	136,67	11,33
L_{07}	00-01-02-03-06-09-15-18-19-20-22-23-24-25-26	207,33	10,33
L_{08}	00-01-02-03-06-09-15-18-19-20-22-24-25-26	196,50	13,53
L_{09}	00-01-02-03-06-10-16-22-23-24-25-26	173,00	11,44
L_{10}	00-01-02-03-06-10-16-22-24-25-26	162,17	14,64
L_{11}	00-01-02-03-06-10-16-18-19-20-22-23-24-25-26	222,67	10,33
L_{12}	00-01-02-03-06-10-16-18-19-20-22-24-25-26	211,83	13,53

	Шлях мережевого графа (Network graph path)	$\bar{t}(L)$	$\sigma^2(L)$
L_{13}	00-01-02-03-06-11-17-22-23-24-25-26	174,50	8,92
L_{14}	00-01-02-03-06-11-17-22-24-25-26	163,67	12,11
L_{15}	00-01-02-03-06-11-17-18-19-20-22-23-24-25-26	224,17	7,81
L_{16}	00-01-02-03-06-11-17-18-19-20-22-24-25-26	213,33	11,00
L_{17}	00-01-02-03-04-05-08-14-22-23-24-25-26	181,50	8,58
L_{18}	00-01-02-03-04-05-08-14-22-24-25-26	170,67	11,78
L_{19}	00-01-02-03-04-05-08-14-18-19-20-22-23-24-25-26	245,50	11,03
L_{20}	00-01-02-03-04-05-08-14-18-19-20-22-24-25-26	234,67	14,22
L_{21}	00-01-02-03-04-05-09-15-22-23-24-25-26	181,50	8,58
L_{22}	00-01-02-03-04-05-09-15-22-24-25-26	170,67	11,78
L_{23}	00-01-02-03-04-05-09-15-18-19-20-22-23-24-25-26	241,33	10,78
L_{24}	00-01-02-03-04-05-09-15-18-19-20-22-24-25-26	230,50	13,97
L_{25}	00-01-02-03-04-05-10-16-22-23-24-25-26	207,00	11,89
L_{26}	00-01-02-03-04-05-10-16-22-24-25-26	196,17	15,08
L_{27}	00-01-02-03-04-05-10-16-18-19-20-22-23-24-25-26	256,67	10,78
L_{28}	00-01-02-03-04-05-10-16-18-19-20-22-24-25-26	245,83	13,97
L_{29}	00-01-02-03-04-05-11-17-22-23-24-25-26	208,50	9,36
L_{30}	00-01-02-03-04-05-11-17-22-24-25-26	197,67	12,56
L_{31}	00-01-02-03-04-05-11-17-18-19-20-22-23-24-25-26	258,17	8,25
L_{32}	00-01-02-03-04-05-11-17-18-19-20-22-24-25-26	247,33	11,44
L_{33}	00-01-02-03-12-18-19-20-22-23-24-25-26	211,17	14,36
L_{34}	00-01-02-03-12-18-19-20-22-24-25-26	200,33	17,56
L_{35}	00-01-02-03-04-05-12-18-19-20-22-23-24-25-26	246,83	15,58
L_{36}	00-01-02-03-04-05-12-18-19-20-22-24-25-26	236,00	18,78
L_{37}	00-01-02-03-12-13-21-22-23-24-25-26	188,67	7,56
L_{38}	00-01-02-03-12-13-21-22-24-25-26	177,83	10,75
L_{39}	00-01-02-03-04-05-12-13-21-22-23-24-25-26	224,33	8,78
L_{40}	00-01-02-03-04-05-12-13-21-22-24-25-26	213,50	11,97
L_{41}	00-01-02-03-07-13-21-22-23-24-25-26	184,83	12,64
L_{42}	00-01-02-03-07-13-21-22-24-25-26	174,00	15,83

Таблиця А.3 – Шляхи графа робіт по технічному проектуванню

Table A.3 – Ways of work schedule on schematic design

	Шлях мережевого графа (Network graph path)	$\bar{t}(L)$	$\sigma^2(L)$
L_{43}	26-27-28-33-38-43-47-52-53-54-55	182,50	13,47
L_{44}	26-27-29-34-39-44-48-52-53-54-55	184,67	12,89
L_{45}	26-27-30-35-40-45-49-52-53-54-55	171,83	14,81
L_{46}	26-27-31-36-41-46-50-52-53-54-55	199,67	9,94
L_{47}	26-27-28-33-42-51-52-53-54-55	143,83	10,36
L_{48}	26-27-29-34-42-51-52-53-54-55	144,50	10,36
L_{49}	26-27-30-35-42-51-52-53-54-55	138,67	8,94
L_{50}	26-27-31-36-42-51-52-53-54-55	171,50	9,36
L_{51}	26-27-28-33-51-52-53-54-55	110,17	7,14
L_{52}	26-27-29-34-51-52-53-54-55	110,83	7,14
L_{53}	26-27-30-35-51-52-53-54-55	113,00	7,33
L_{54}	26-27-31-36-51-52-53-54-55	126,50	7,14
L_{55}	26-27-32-37-51-52-53-54-55	127,17	8,81
L_{56}	26-27-32-37-52-53-54-55	134,33	6,44

Таблиця А.4 – Шляхи графа розробки РКД виготовлення та попередніх випробувань дослідного зразка

Table A.4 – WDD development graph paths, manufacturing and preliminary tests of the prototype

	Шлях мережевого графа (Network graph path)	$\bar{t}(L)$	$\sigma^2(L)$
L_{57}	55-56-61-71-76-80-81-83-84-85-86-87-88-89-90-91	628,50	83,69
L_{58}	55-56-61-71-76-80-81-82-90-91	457,17	69,08
L_{59}	55-56-61-66-70-78-80-81-83-84-85-86-87-88-89-90-91	459,50	48,47
L_{60}	55-56-61-66-70-78-80-81-82-90-91	288,17	35,64
L_{61}	55-56-61-66-70-79-80-81-83-84-85-86-87-88-89-90-91	455,67	50,83
L_{62}	55-56-61-66-70-79-80-81-82-90-91	284,33	38,00
L_{63}	55-56-61-75-83-84-85-86-87-88-89-90-91	374,50	43,81
L_{64}	55-56-61-77-82-90-91	202,17	28,97
L_{65}	55-57-62-72-76-80-81-83-84-85-86-87-88-89-90-91	543,17	67,69
L_{66}	55-57-62-72-76-80-81-82-90-91	371,83	53,08
L_{67}	55-57-62-67-70-78-80-81-83-84-85-86-87-88-89-90-91	469,83	49,25
L_{68}	55-57-62-67-70-78-80-81-82-90-91	298,50	36,42
L_{69}	55-57-62-67-70-79-80-81-83-84-85-86-87-88-89-90-91	466,00	51,61
L_{70}	55-57-62-67-70-79-80-81-82-90-91	294,67	38,78
L_{71}	55-57-62-75-83-84-85-86-87-88-89-90-91	384,50	43,81

Продовження таблиці А.4
(Table continuation A.4)

	Шлях мережевого графа (Network graph path)	$\bar{t}(L)$	$\sigma^2(L)$
L_{72}	55-57-62-77-82-90-91	212,83	28,97
L_{73}	55-58-63-73-76-80-81-83-84-85-86-87-88-89-90-91	546,17	60,25
L_{74}	55-58-63-73-76-80-81-82-90-91	374,83	45,64
L_{75}	55-58-63-68-70-78-80-81-83-84-85-86-87-88-89-90-91	456,17	45,75
L_{76}	55-58-63-68-70-78-80-81-82-90-91	284,83	32,92
L_{77}	55-58-63-68-70-79-80-81-83-84-85-86-87-88-89-90-91	452,33	48,11
L_{78}	55-58-63-68-70-79-80-81-82-90-91	281,00	35,28
L_{79}	55-58-63-75-83-84-85-86-87-88-89-90-91	363,00	38,22
L_{80}	55-58-63-77-82-90-91	191,67	24,28
L_{81}	55-59-64-74-76-80-81-83-84-85-86-87-88-89-90-91	551,00	58,50
L_{82}	55-59-64-74-76-80-81-82-90-91	379,67	43,89
L_{83}	55-59-64-69-70-78-80-81-83-84-85-86-87-88-89-90-91	505,17	46,47
L_{84}	55-59-64-69-70-78-80-81-82-90-91	333,83	33,64
L_{85}	55-59-64-69-70-79-80-81-83-84-85-86-87-88-89-90-91	501,33	48,83
L_{86}	55-59-64-69-70-79-80-81-82-90-91	330,00	36,00
L_{87}	55-59-64-75-83-84-85-86-87-88-89-90-91	406,33	42,11
L_{88}	55-59-64-77-82-90-91	234,00	27,28
L_{89}	55-60-65-80-81-83-84-85-86-87-88-89-90-91	403,67	52,56
L_{90}	55-60-65-80-81-82-90-91	232,33	37,94

Навчальне видання

Л. Т. АЛОБА, Г. В. БАБКІН, А. М. ВОЙТАСИК,
О. П. КЛОЧКОВ, А. С. СІРІВЧУК, В. В. ТРИБУЛЬКЕВИЧ

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ МОРСЬКОЇ РОБОТОТЕХНІКИ

Під редакцією д.т.н. проф. В. С. Блінцова
Комп'ютерне верстання В. В. Трибулькевич

© Національний університет кораблебудування імені
адмірала Макарова, 2018

Формат 80x84/16. Ум. друк. арк. 5,0. Тираж 100 прим. Зам. № 133.
Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54025, E-mail : publishing@nuos.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 2506 від 25.05.2006 р.