

УДК 504.064:629.5.081

Р 41

## ЕКСПЕРТНА СИСТЕМА ОЦІНКИ РІВНІВ ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТІВ СУДНОБУДІВНОГО ЗАВОДУ

### EXPERT SYSTEM OF ASSESSMENT FOR THE ENVIRONMENTAL RISK LEVELS OF HAZARDOUS FACILITIES OF A SHIPBUILDING PLANT

С. С. Рижков, д-р техн. наук, проф.;

S. S. Ryzhkov, Doctor of Technical Sciences, Prof.;

І. В. Тимченко, канд. техн. наук

I. V. Tymchenko, Candidate of Technical Sciences

*Національний університет кораблебудування, м. Миколаїв**National University of Shipbuilding, Mykolayiv*

**Анотація.** Розроблена методика оцінки рівнів екологічного ризику при експлуатації небезпечних об'єктів суднобудівного заводу (на прикладі ацетиленової станції, сухого дока, добувочної набережної та станції заправки дизельним паливом). Сформований алгоритм оцінки рівнів екологічного ризику з урахуванням критеріїв оцінки технічного стану основних вузлів даних технологічних об'єктів заводу.

**Ключові слова:** екологічна безпека, ліквідація, небезпечні речовини, суднобудівний завод.

**Abstract.** The methodology for the assessment of environmental risk levels of hazardous facilities at a shipbuilding plant (represented using the example of an acetylene generator station, a dock, a fitting-out embankment and a diesel fuel station) is developed. The algorithm of assessment of the environmental risk levels is developed regarding the criteria of assessment of technical condition of primary units of specific plant technological facilities.

**Keywords:** environmental safety, liquidation, hazardous substances, shipbuilding plant.

**Аннотация.** Разработана методика оценки уровней экологического риска при эксплуатации опасных объектов судостроительного завода (на примере ацетиленовой станции, сухого дока, достроечной набережной и станции заправки дизельным топливом). Сформирован алгоритм оценки уровней экологического риска с учетом критериев оценки технического состояния данных основных узлов технологических объектов завода.

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, ликвидация, опасные вещества, судостроительный завод.

#### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Суднобудівний завод щодо екологічної безпеки являє собою складну систему з багатьма взаємозв'язками небезпечних об'єктів та процесів, високою ймовірністю виникнення аварійних і небезпечних ситуацій, які потребують прийняття ефективних рішень на етапі запобігання та при ліквідації їх наслідків. Формування таких рішень потребує оцінки рівнів екологічного ризику, який виникає при функціонуванні заводів.

#### АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

На сьогодні створені системи оцінки екологічних ризиків на промислових об'єктах, які дозволяють визначити оптимальний напрямок екологічної політики підприємства [4, 5]. У роботі [4] авторами розроблено методику ідентифікації та оцінки значимості екологічних аспектів при розробці й впровадженні системи екологічного менеджменту на підприємстві ПАТ «Вадан Ярде Океан», яка включає в себе оцінку екологічних факторів безпеки на навколишнє середовище, а також ранжування їх за рівнями ризиків для

#### PROBLEM STATEMENT

From the point of view of environmental safety a shipbuilding plant is a complex system with multiple interrelations of hazardous facilities and processes, high probability of emergency and hazardous situations which require making of effective decisions at the stage of prevention and liquidation of their consequences. Preparation of such decisions needs the assessment of the environmental risk which occurs due to the plants running.

#### ANALYSIS OF RECENT RESEARCH AND PUBLICATIONS

Nowadays the developed systems of environmental risks assessment at industrious facilities allow to determine the effective direction of an enterprise environmental policy [4, 5]. The work [4] considers the methodology of identification and assessment of importance of environmental aspects during the development and introduction of the environmental management system at the OJSC «Vadan Yards Ocean» which includes the assessment of environmental hazardous factors, as well as their rating according to the risks levels for further

подальшої розробки заходів зменшення їх впливу. Разом з тим висока ймовірність виникнення аварійних ситуацій непередбачуваних масштабів, необхідність урахування всіх факторів невизначеного характеру при прийнятті рішень обумовлюють актуальність подальшого вдосконалення методів та програмно-алгоритмічних засобів оцінки рівнів екологічної безпеки.

**МЕТА РОБОТИ** — вдосконалити методику та алгоритм оцінки рівня екологічної безпеки функціонування суднобудівних заводів з використанням експертних методів для вибору раціональних рішень на етапі запобігання та при ліквідації наслідків небезпечних ситуацій.

### ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Рівень екологічної безпеки можна оцінити [7] як

$$R = P(E^*) \sum_{k=1}^n \sum_{t=0}^{t_k} (1 - \eta_j^k) Y_j^k \Delta t,$$

де  $Y_j^k$  — функція, що характеризує екологічні збитки навколишньому середовищу при здійсненні  $k$ -го технологічного процесу або на  $k$ -й ланці ( $k = \overline{1, 2, \dots, n}$ ) та застосуванні  $j$ -ї екологічно безпечної технології ( $j = \overline{1, 2, \dots, m}$ ) за період впливу виробничих негативних факторів  $t_k$ ;  $\eta_j^k$  — коефіцієнт ефективності впровадження заходів із забезпечення екологічної безпеки;  $P(E^*)$  — імовірність виникнення екологічно небезпечної ситуації;  $\Delta t$  — період часу.

Результати розрахунків рівнів екологічної безпеки за даним рівнянням наведені в роботі [7].

Однак незавжди можливо визначити кількісну характеристику функції екологічних збитків та функції ймовірності, наприклад, при врахуванні травм людей, шкоди при виникненні пожеж та вибухів. Тому в даній роботі розглянуті дослідження, що базуються на експертних методах, в яких критеріями оцінювання виступають імовірність виникнення аварійних ситуацій, види аварій та очікувані наслідки на небезпечних об'єктах, а також технічний стан кожного вузла.

У статті запропоновано вдосконалену методику визначення рівня екологічної безпеки технологічних процесів на промислових об'єктах з використанням експертних методів за наступним алгоритмом:

**Еман 1.** Дослідження та аналіз основних об'єктів екологічної безпеки, характеристики небезпечних речовин (НР).

**Еман 2.** Дослідження факторів екологічної безпеки, можливих аварійних ситуацій, імовірності виникнення екологічно несприятливої або небезпечної ситуації та визначення її закону розподілу на кожному вузлі об'єкта.

**Еман 3.** Визначення виду можливої аварійної ситуації на кожній ланці небезпечного об'єкта.

**Еман 4.** Розрахунок оцінок безпеки технологічних об'єктів суднобудівного заводу з врахуванням факторів аварійної безпеки.

development of activities for their influence minimization. In addition, high probability of emergency occurrence of the unforeseen scale, the necessity to include all the factors of the undefined character during decisions making stipulates the urgency of further upgrading of methodology and algorithmic means of environmental danger levels assessment.

**THE AIM OF THE WORK** — to improve the methodology and algorithm of assessment of the environmental hazard level for shipbuilding plants using expert methods for rational decisions making at the stage of prevention and during liquidation of emergencies consequences.

### DESCRIPTION OF RESEARCH MATERIAL

The level of environmental hazard can be estimated in the following way [7]

$$R = P(E^*) \sum_{k=1}^n \sum_{t=0}^{t_k} (1 - \eta_j^k) Y_j^k \Delta t,$$

where  $Y_j^k$  — the function which characterizes environmental losses during performance of the  $k$ -th technological process or on the  $k$ -th link ( $k = \overline{1, 2, \dots, n}$ ) and usage of the  $j$ -th environmentally safe technology ( $j = \overline{1, 2, \dots, m}$ ) for the  $t_k$  period of industrial negative factors influence;  $\eta_j^k$  — the efficiency coefficient for introduction of activities concerning environmental safety provision;  $P(E^*)$  — the probability of environmental hazard occurrence;  $\Delta t$  — the time period.

The results of the environmental hazards levels are being calculated through this equation represented in the study [7].

However, it is not always possible to define the function quantitative characteristic of environmental losses as well as the probability function, for example when considering the people injuries, damage due to fire and explosions. That is why this study considers the research which is based on the expert methods where the assessment criteria are the probability of emergency occurrence, types of emergency and expected consequences at hazardous facilities as well as the technical condition of every unit.

This paper offers an improved methodology of defining the level of environmental hazard of technological processes at industrial facilities with implementation of expert methods according to the following algorithm:

**Stage 1.** Research and analysis of the primary hazardous facilities, characteristics of hazardous substances (HS).

**Stage 2.** Study of the environmental hazard factors, possible emergencies, probability of environmentally unfavourable or hazardous situation occurrence as well as defining its law of distribution on every unit of a facility.

**Stage 3.** Definition of the type of possible emergency on every link of a hazardous facility.

**Stage 4.** Hazards assessment calculation for technological facilities of a shipbuilding plant considering the emergency factors.

**Eman 5.** Розрахунок оцінок небезпеки технологічних об'єктів на основі критеріїв технічного стану основних вузлів.

**Eman 6.** Визначення інтегрованої оцінки небезпеки та ранжування об'єктів за отриманими оцінками.

Оцінка екологічного ризику експлуатації об'єктів суднобудівного заводу наведена на прикладі ПАТ «Вадан Ярде Океан» [1–3]. Для аналізу обрано:

1) ацетиленову станцію (виробництво та постачання ацетилену для киснево-ацетиленового зварювання) [3];

2) станцію заправки суден дизельним паливом і перевантаження нафтопродуктів об'ємом до 500 000 т на рік [1];

3) сухий док [2];

4) добувочну набережну [2].

Найбільш небезпечним об'єктом заводу є ацетиленова станція.

Розглянемо потенційні види екологічної небезпеки при експлуатації ацетиленової станції.

1. Виникнення свищів та нещільності внаслідок наступних причин:

корозії, неякісного зварювання, заводських дефектів; послаблення фланцевих з'єднань та сальникових ущільнень;

пошкодження трубопроводів та обладнання;

помилки робочого персоналу.

Види можливих аварій: вибух та пожежа, забруднення повітря.

2. Виникнення несправностей електрообладнання через такі причини:

перевантаження фаз;

наднормативне нагрівання обладнання;

іскріння, коротке замикання.

Види можливих аварій: пожежа, вибух.

3. Проникнення повітря в технологічний процес унаслідок неякісної продувки.

Види можливих аварій: пожежа, вибух.

4. Виникнення несправностей у системах сигналізації, вентиляції, аварійного охолодження та ін.

Види можливих аварій: вибух та пожежа, забруднення повітря.

5. Недостатня кількість води в живильній ємності генератора.

Види можливих аварій: пожежа, вибух.

Визначено тринадцять факторів екологічної небезпеки, які можуть призвести до пожежо- і вибухо-небезпечних ситуацій, забруднення повітря НР та як наслідок до отруєнь людей і навіть смерті, руйнування споруд, обладнання та суден.

Найбільш небезпечними визначено наступні фактори ( $F$ ) з ранжуванням оцінок  $W_1 > W_2 > W_3$ :

$F_1$  — виникнення загоряння будь-якого характеру на складах зберігання балонів ацетилену та кисню;

$F_2$  — втрати ацетилену внаслідок розгерметизації балонів;

**Stage 5.** Calculation of assessment of technological facilities hazards on the basis of technical condition of primary units.

**Stage 6.** Definition of integrate calculation of hazard and rating of the facilities according to the assessment results.

Assessment of environmental risk of the shipbuilding plant facilities operation has been performed through the example OJSC «Vadan Yards Ocean» [1–3]. The following facilities were chosen for the analysis:

1) acetylene generator station (production and supply of acetylene for oxyacetylene welding) [3];

2) diesel fuel station for vessels and oil products overloading with the volume of up to 500 000 t per year [1];

3) dry dock [2];

4) fitting-out embankment [2].

The acetylene generator station is the most hazardous facility of the plant.

Let us consider the potential types of environmental hazards during the operation of acetylene station.

1. Creation of flaws and leakages due to: corrosion, low-quality welding, factory defects; reduction of flange joints and stuffing-box seal; failure of pipelines and equipment; personnel errors.

Types of possible emergencies: explosion and fire, air pollution.

2. Failure of electrical equipment due to: phases overload; over standard equipment heating; arcing, short circuit.

Types of possible emergencies: fire, explosion.

3. Penetration of air in the process as a result of low-quality sweeping-out.

Types of possible emergencies: fire, explosion.

4. **Initiation of failures in the alarm, ventilation, emergency cooling systems etc.**

Types of possible emergencies: explosion and fire, air pollution.

5. Insufficient amount of water in nutritional capacity of generator.

Types of possible emergencies: fire, explosion.

Thirteen factors of environmental hazards are determined. These factors may result in fire and explosive situations, air pollution with HS (hazardous substances) and as a consequence to people poisoning and even death. These factors may also lead to destruction of buildings, equipment and vessels.

The following factors are the most dangerous ( $F$ ) with rating  $W_1 > W_2 > W_3$ :

$F_1$  — beginning of fire on the territory of storehouse with acetylene and oxygen containers;

$F_2$  — losing of acetylene due to containers depressurization;

$F_3$  — losing of acetylene due to process breach of valve repair.

$F_3$  — втрати ацетилену через порушення ремонту вентилів.

Проаналізовано основні джерела забруднення при експлуатації станції заправки дизельного палива.

#### 1. Джерела постійного забруднення атмосфери.

1.1. Суднова енергетична установка (внаслідок роботи допоміжної суднової установки під час стоянки судна). Забруднюючі речовини: сажа, ангідрид сірчистий, двооксид азоту, оксид вуглецю, вуглеводні граничні. Заходи зменшення небезпеки: застосування режимно-технологічних методів, оптимізація процесу горіння.

1.2. Труба на ємності з нафтопродуктами. Випаровування нафтопродуктів унаслідок великого та малого дихання при наливів, зберіганні й зливів дизельного палива в танки судна та залізничні цистерни, а також роботі насосних складів. Забруднюючі речовини: вуглеводні граничні, бензол. Заходи зменшення небезпеки: застосування датчиків контролю тиску на ємності з нафтою.

2. Джерела постійного забруднення водного середовища.

#### 2.1. Поверхневий стік нафтовмісних вод.

2.2. Осідання сажі, яка виділяється при роботі суднової установки.

2.3. Стічні води (передаються на місцеві очисні споруди).

Заходи зменшення небезпеки: застосування нафтоуловлювачів та ефективних очисних засобів, вертикальне планування території.

#### 3. Утворення твердих побутових відходів:

**нафтошлам** (нафтопродукти 80...85%, 4 клас небезпеки). Характеристика: нерозчинний, нелеткий, пожежонебезпечний. Місце утворення: резервуари нафтопродуктів. Утилізація: сировина на асфальтобетонному заводі;

**промаслений пісок** (нафтовідходи 5%, 4 клас небезпеки). Характеристика: нерозчинний, нелеткий, пожежонебезпечний. Місце складання: піддони. Знешкодження: обробка препаратом «Еконадін» та вивіз на звалище.

**промаслене драгтя** (нафтовідходи 0,5%, 4 клас небезпеки). Характеристика: нерозчинне, нелетке, пожежонебезпечне. Місце складання: контейнер. Знешкодження: спалювання в котельній заводу;

**побутові відходи**. Характеристика: нерозчинні, нелеткі. Місце складання: контейнер. Знешкодження: вивіз на звалище. Заходи зменшення небезпеки: складування в спеціальних місцях, обробка препаратом «Еконадін», своєчасна утилізація.

4. Джерела аварійного забруднення атмосфери. Значне забруднення атмосфери можливе при виникненні пожежі. Заходи зменшення небезпеки: застосування системи автоматичного контролю та сигналізації на складах, ефективне функціонування протипожежної системи, дотримання норм техніки безпеки.

It is carried out the analysis of pollution main sources during operation of diesel filling stations.

#### 1. Sources of continuous air pollution.

1.1. Ship power plant, as a result of an auxiliary hip plant operation during the vessel mooring. Contaminants: soot, sulfur dioxide, nitrogen dioxide, carbon monoxide, boundary hydrocarbons. Risk reduction measures: application of regime and technological methods, optimization of combustion process.

1.2. Pipe located on the container with oil products. Evaporation of oil products due to large and small breathing in terms of: filling, storage and discharge of diesel fuel in vessel containers, tank cars as well as pump storage operation. Contaminants: boundary hydrocarbons, benzene. Risk reduction measures: usage of pressure monitoring sensors located on the containers with oil.

#### 2. Sources of permanent water pollution.

##### 2.1. Surface runoff of oil-containing water.

2.2. Sedimentation of soot, which is released during operation of the ship plant.

2.3. Wastewater (transferred to local cleaning facilities).

Risk reduction measures: application of oil catchers and effective cleaning equipment, vertical area planning.

#### 3. Creation of solid household wastes:

**oil-slime** (80...85% of oil products, 4 class of danger). Description: insoluble, non-volatile, fire risk. Place of creation: oil products containers. Recycling: raw material for coating plant;

**greasy sand** (5% of oil wastes, 4 class of danger). Description: insoluble, non-volatile, fire risk. Place of accumulation: trays. Clearance: processing with «Ekonadin» drug and export to landfill;

**greasy rags** (0,5% of oil wastes, 4 class of danger). Description: insoluble, non-volatile, fire risk. Place of accumulation: container. Clearance: combustion in a boiler of a plant;

**household wastes**. Description: insoluble, non-volatile. Place of accumulation: container. Clearance: export to a dump. Measures to reduce risk: storage in special areas, processing with «Ekonadin» drug, timely utilization.

4. Sources of emergency air pollution. Significant air pollution may occur in case of fire. Risk reduction measures: usage of automatic control and alarm systems at warehouses; effective functioning of the fire control system; following the accident prevention measures.

5. Sources of emergency water pollution. Possible causes.

5. Джерела аварійного забруднення водного середовища. Можливі причини.

5.1. Аварійні розливи нафтопродуктів при наливі, зливі нафтопродуктів у танки судна.

5.2. Аварійні зіткнення суден, посадка судна на міліну.

5.3. Несанкціонований скид нафтовмісних вод із судна.

Заходи зменшення небезпеки: контроль технологічних операцій, зупинка всіх робіт при аварії, система автоматизованого контролю та навігації на судні й причалі, жорсткий екологічний контроль відповідних служб.

При експлуатації станції заправки дизельного палива визначено чотирнадцять факторів небезпеки. Оцінки найбільш небезпечних факторів ранжовані як  $W_1 > W_2 > W_3 > W_4$ :

$F_1$  — пожежа та вибух;

$F_2$  — аварійні розливи нафтопродуктів при наливі, зливі нафтопродуктів у танки судна;

$F_3$  — несанкціонований скид нафтовмісних вод із судна;

$F_4$  — поверхневий стік нафтовмісних вод.

При експлуатації сухого дока можуть виникати певні аварійні ситуації, які порушують технологічний процес та призводять до значних наслідків для довкілля.

1. Порушення технологічного процесу побудови суден через такі причини:

потрапляння до дока зайвих вод, ґрунтових вод при виході з ладу системи дренажу;

відмова насосної станції та як наслідок підтоплення дока;

відмова роботи затворів і як наслідок потрапляння води з акваторії;

навалювання судна на стінки сухого дока.

При цьому такі порушення можуть призвести до людських жертв, збільшення пожежо- та вибухонебезпечності об'єкта, потрапляння до водного середовища шкідливих рідин (масел, фарб та ін.), а також сміття.

2. Пожежа та вибух унаслідок наступних причин: пошкодження трубопроводів з ацетиленом і киснем;

порушення технології поводження з лакофарбовими матеріалами в трюмах суден;

порушення роботи обладнання.

3. Забруднення повітря НР та створення зон, непридатних для дихання за таких причин:

розгерметизація балонів із НР;

розгерметизація балонів з двооксидом вуглецю й аргоном;

виділення НР при фарбуванні трюмів.

Добудовна набережна експлуатується для добудови на плаву суден. Найбільш небезпечні ситуації можуть виникнути при льодовій обстановці, аномаль-

5.1. Emergency spilling of oil products during running or discharge in the vessel containers.

5.2. Emergency collision of vessels, vessels strand.

5.3. Unauthorized discharge of oil-containing water from vessels.

Risk reduction measures: control of technological operations, shutdown in case of an accident; system of automated control and navigation of the vessel and the moorage; strict environmental control of the proper services.

Fourteen hazards were identified during diesel filling station operation. Estimates of the most dangerous factors ranked as  $W_1 > W_2 > W_3 > W_4$ :

$F_1$  — fire and explosion;

$F_2$  — emergency spilling of oil products during running or discharge in the vessel containers;

$F_3$  — unauthorized discharge of oil-containing water from vessels;

$F_4$  — surface runoff of oil-containing water.

During dry dock operation the following emergency situations that break technological process and lead to significant consequences for the environment may arise.

1. Violation of the shipbuilding process due to: getting of the extra water to the dock, i.e. underground due to failure of drainage system;

failure of pumping station and as a result the flooding of the dock;

failure of closures and as a result water getting from the waters;

vessel pulling on the dry dock wall.

In addition, these breakings can lead to fatal accidents, increase of fire and explosion danger, getting into aquatic environment of hazardous liquids (oils, paints, etc.), and also garbage.

2. Fire and explosion due to:

damage of the pipeline with acetylene and oxygen;

breaking of the handling paints and varnishes technology in the vessels holds;

equipment operation failure.

3. Air pollution with HS and creation of zones unsuitable for breathing due to:

depressurization of containers with HS;

depressurization of containers with carbon dioxide and argon;

HS release while painting of holds.

The fitting-out embankment is exploited for building of vessels afloat. The most dangerous situation can occur at ice conditions, abnormal weather conditions, additional loads on the moorage (usage for loading / unloading of general cargo ships); equipment deterioration. The most dangerous is the period of vessel mooring.

них погодних умовах, додатковому навантаженні на причал (використання його під завантаження/розвантаження суден генеральними вантажами), а також зносі обладнання. Найбільш небезпечним є період швартування суден.

Види аварій: пожежа та вибух, потрапляння НР до водного середовища й ґрунтів (нафтопродуктів, хімічних речовин з корозійною активністю, водомасляних емульсій, фарб та ін.), вібраційні навантаження.

При експлуатації сухого дока та набережної визначено відповідно 10 і 5 факторів безпеки. Найбільш небезпечні ситуації пов'язані з порушенням технології поводження з лакофарбовими матеріалами в трюмах суден, потраплянням до дока ґрунтових вод при виході з ладу системи дренажу або навалюванні судна на стінки дока.

Для визначення оцінки технічного стану об'єктів з точки зору безпеки  $K$  сформовано основні критерії. Вагові коефіцієнти критеріїв отримано методом Сааті [6]. Результати наведено в табл. 1 та на рис. 1.

Для розрахунку інтегрованої оцінки  $W_{int}$  в умовах незбігу  $K$  та  $W$  (оцінки небезпечних факторів) вико-

Types of accidents: fire and explosion, HS spills to water environment and soil (petroleum products, chemical substances with corrosion activity, oil-water sludges, paints, etc.), vibration loading.

While the drydock and seafront operation 10 factors and 5 hazard factors have been determined. The most hazardous events are caused by breach of treatment technology of varnish-and-paint materials in vessels holds, ingress of ground waste into the docks while drainage system failure and vessel bulk on dock walls.

For technical condition assessment of facilities from the point of hazard  $K$  the main criteria are formulated. Weight coefficients of criteria have been received by means of the Saati method [6]. The results are listed in the table 1 and fig. 1.

For the integrated assessment calculation  $W_{int}$  in the conditions of  $K$  and  $W$  (unsafe factors assessment) non-coincidence the Bayes formula shall be used [7, 8], which is specified for the formulated task. Assessments are calculated by taking into consideration  $m$  of independent experts who make a detached judgment. Statistics of ac-

**Таблиця 1.** Критерії оцінки технічного стану об'єктів безпеки

**Table 1.** Criteria of technical condition assessment of hazardous facilities

Критерії / <i>Criteria</i>	Рівень безпеки <i>Hazard level</i>	Ваговий коефіцієнт <i>Weight coefficient</i>
1. Строк експлуатації / <i>Service life</i>		5
До 3 років / <i>Up to 3 years</i>	1	
3–5	5	
5–10	7	
Більше 10 / <i>More than 10</i>	10	
2. Характер небезпечних речовин (категорія безпеки) <i>Hazardous substances nature (hazard category)</i>		5
4	1	
3	4	
2	7	
1	10	
3. Швидкість корозії / <i>Corrosion rate</i>		4
Висока / <i>High</i>	10	
Середня / <i>Medium</i>	5	
Низька / <i>Low</i>	1	
4. Технічний контроль / <i>Technical control</i>		2
Високий / <i>High</i>	1	
Середній / <i>Medium</i>	5	
Низький / <i>Low</i>	10	
5. Наявність датчиків / <i>Sensors availability</i>		2
Є / <i>Available</i>	1	
Ні / <i>Not available</i>	10	
6. Рівень автоматизації / <i>Automation level</i>		3
Високий / <i>High</i>	1	
Середній / <i>Medium</i>	5	
Низький / <i>Low</i>	10	

Рис. 1. Діалогове вікно програми («Calculation program of the integrated estimation») розрахунку оцінки технічного стану сухого дока

Fig. 1. Dialogue window of the calculation program («Calculation program of the integrated assessment») of technical assessment of the dry a dock state

ристовується формула Байеса [7, 8], яка уточнена для поставленої задачі. Оцінки розраховані із залученням  $m$  зовнішніх експертів, які приймають незалежне рішення. При цьому враховується статистика виникнення аварій на тому чи іншому об'єкті. Професійна кваліфікація експертів  $P(W_{int1}), \dots, P(W_{intM})$  визначається заздалегідь та виступає апіорною ймовірністю. Колективне рішення приймається на користь  $W_{int}$  — оцінки  $k$ -го експерта згідно з Байесовою формулою, яку можна записати у вигляді

$$P(W_{intk}|A) = \max_{k=1, \dots, M} \frac{P(W_{intk})P(A|W_{intk})}{\sum_{k=1}^M P(W_{intk})P(A|W_{intk})}$$

де  $A$  — комбінації приватних рішень  $M$  експертів;

$$P(A|W_{intk}) = \frac{P(F_k)P(W(K))}{\sum_{k=1}^M P(F_k)P(W(K))}$$

вірність відношення ситуації до однієї з  $M$ -оцінок;  $F_k = F/M$  — частота повторення  $k$ -ї оцінки у виборці з  $M$  оцінок ( $F$  — кількість повторних оцінок);  $P(W_{int}(K))$  — відношення оцінки експерта до розрахункової оцінки  $K$  або  $W$ , визначеної раніше.

При цьому береться припущення, що отримані ймовірності розподіляються за нормальним законом.

У результаті розрахунків за даною формулою об'єкти ацетиленової станції ранжуються наступним чином:

- 1) генераторне відділення (в якому розкупорюють

циденти на one facility or the other is taken into account as well. Professional qualification of experts  $P(W_{int1}), \dots, P(W_{intM})$  is determined in advance and is a prior probability. Group decision is made for  $W_{int}$  —  $k$ -expert assessment in accordance with the Bayes formula, which can be written as follows

$$P(W_{intk}|A) = \max_{k=1, \dots, M} \frac{P(W_{intk})P(A|W_{intk})}{\sum_{k=1}^M P(W_{intk})P(A|W_{intk})}$$

where  $A$  — combinations of experts decisions  $M$ ;

$$P(A|W_{intk}) = \frac{P(F_k)P(W(K))}{\sum_{k=1}^M P(F_k)P(W(K))}$$

ity relation of situation to one of  $M$ -assessments;  $F_k = F/M$  — repetition rate of  $k$ -assessment in sampling  $M$  assessments ( $F$  — quantity of reevaluations);  $P(W_{int}(K))$  — relation of expert's assessment to calculating evaluation  $K$  or  $W$ , specified above.

In this case it is assumed that the received probabilities are distributed in accordance with the regular law.

As a result of the calculations according to the given formula the acetylene station facilities are rated as follows:

- 1) generator section (in which calcium carbide is uncorked and transferred to a gas generator) and warehouses for cylinders with acetylene, calcium carbide and acetone —  $W_{int} = 10$ ;
- 2) workshop —  $W_{int} = 9$ ;

карбід кальцію та передають у газоутворювач генератора) і склади зберігання балонів з ацетиленом, карбідом кальцію, ацетоном —  $W_{int} = 10$ ;

2) майстерня —  $W_{int} = 9$ ;

3) наповнювальне відділення, в якому зберігаються балони з ацетиленом та додається ацетон —  $W_{int} = 6$ ;

4) компресорне відділення —  $W_{int} = 4$ ;

5) збірник продувок і муловідстійник —  $W_{int} = 2$ .

Оцінка узгодженості рішень експертів дорівнює 19% (для умови узгодженості не повинна перевищувати 20%).

Об'єкти станції заправки дизельним паливом за рівнем небезпеки ранжуються таким чином:

1) причал перевантаження —  $W_{int} = 10$ ;

2) судно-клієнт —  $W_{int} = 9$ ;

3) насосна станція та склади зберігання —  $W_{int} = 5$ ;

4) естакада залізничних ємностей —  $W_{int} = 3$ ;

Оцінка узгодженості 20%.

Об'єкти сухого дока за рівнем небезпеки ранжуються наступним чином:

1) судно і трубопроводи з ацетиленом та киснем —  $W_{int} = 10$ ;

2) канали провідок —  $W_{int} = 7$ ;

3) насосна станція —  $W_{int} = 6,5$ ;

4) затвори —  $W_{int} = 6$ .

Оцінка узгодженості рішень експертів 10%.

Об'єкти добувочної набережної за рівнем небезпеки ранжуються так:

1) судно —  $W_{int} = 10$ ;

2) трубопроводи з ацетиленом та киснем —  $W_{int} = 7$ ;

3) причал —  $W_{int} = 4$ .

Оцінка узгодженості рішень експертів 2%.

На рис. 2 наведено діалогове вікно програми визначення інтегрованої оцінки небезпеки об'єктів (а) та параметрів і рівня небезпечної ситуації (б) для формування рекомендацій щодо її усунення.

## ВИСНОВКИ

Удосконалено методіку та алгоритм оцінки рівня екологічної безпеки функціонування суднобудівних заводів з використанням експертних методів.

Розрахунок оцінок небезпеки за розробленою методикою дозволяє визначити, яким чином найефективніше розподілити матеріальні ресурси на заходи щодо підвищення рівня екологічної безпеки експлуатації суднобудівного заводу.

Застосування як методів обробки експертних оцінок методу аналізу ієрархій Сааті та формули Байєса забезпечує більшу точність результатів. Перевірка вірогідності алгоритму в порівнянні з іншими й документальними даними проведена наступним чином:

визначено результуючу оцінку через середнє значення, при цьому середній квадратичний відхил може досягати 41%;

визначено результуючу оцінку через вагові коефі-

3) filling station, where cylinders with acetylene are stored and acetone is added therein —  $W_{int} = 6$ ;

4) compressor section —  $W_{int} = 4$ ;

5) lancing set and sludge collector —  $W_{int} = 2$ .

Assessment of consistency of experts' decisions equals 19% (for the consistency condition must not exceed 20%).

Diesel fuel filling station facilities in accordance with the hazard level are rated as follows:

1) overload berth —  $W_{int} = 10$ ;

2) customer vessel —  $W_{int} = 9$ ;

3) pumping unit and warehouses —  $W_{int} = 5$ ;

4) railway volume main —  $W_{int} = 3$ .

Consistency assessment 20%.

Drydock facilities in accordance with the hazard level are rated as follows:

1) vessel and pipelines with acetylene and oxygen —  $W_{int} = 10$ ;

2) wire channels —  $W_{int} = 7$ ;

3) pumping unit —  $W_{int} = 6,5$ ;

4) locks —  $W_{int} = 6$ .

Assessment of experts' decision consistency 10%.

Fitting-out facilities in accordance with the hazard level are rated as follows:

1) vessel —  $W_{int} = 10$ ;

2) pipelines with acetylene and oxygen —  $W_{int} = 7$ ;

3) berth —  $W_{int} = 4$ .

Assessment of experts' decision consistency 2%.

The Dialogue window of calculation program of the integrated assessment of danger of objects (a), parameters and level emergency (b) is resulted on the fig. 2 for forming of recommendation about elimination of its consequences.

## CONCLUSIONS

The methodology and algorithm of assessment of the environmental hazard level of shipbuilding plants operation has been improved by the expert methods application.

Assessment calculation of hazard in accordance with the developed methodology allows determining the most effective way of costs distribution on measures for environmental safety level increasing of shipbuilding plant operation.

Application of the Analytic Hierarchy Process and the Bayes formula provides more accurate results. The algorithm of probability tests in comparison with other documentation data is being carried out as follows:

overall assessment is determined by means of the average value, thus an average quadratic deviation can reach 41%;

	W	K	W	R	Precautionary action
Overload berth	10	8	10		The closed technological s <input checked="" type="checkbox"/>
Customer vessel	10	7	9		Protections of bon <input checked="" type="checkbox"/>
Pumping unit	5	4	5		Service of transport system <input type="checkbox"/>
Warehouses	5	5	5		The skimmer on duty <input type="checkbox"/>
Railway volume main	4	3	3		Estimation efficiency of actions <input type="text" value="5"/>

**Calculating**

a) – a)

Parameters of emerge: Hydroweather conditions: 0, Volume of pollution: 100, Risk of ignition: 2, ESI pollution area: 2

Look-ahead conseq: Loss of human life , Influences on biotat , Water area pollution , Equipment damage

Category of danger of emerg: 4

Expert1: 6, Expert2: 6, Expert3: 5, Expert4: 5

integrated estimation of damage: 6

**Calculating**

Estimation of experts' decision consistency: 19

b) – b)

**Рис. 2.** Діалогове вікно програми розрахунку інтегрованої оцінки небезпеки ситуації («Calculation program of the integrated estimation») для станції заправки дизельним паливом

**Fig. 2.** Dialogue window of calculation program of the integrated assessment of damage («Calculation program of the integrated assessment») for the diesel fuel filling station

цієнти (кваліфікація експертів), при цьому середній квадратичний відхил може досягати 37 %.

Запропонований алгоритм забезпечує відхил у межах 1 % (до 10 %) за рахунок відкидання неко- ректних оцінок.

overall assessment is determined by means of weight coefficients (experts qualification), thus an average quadratic deviation can reach 37 %.

Proposed algorithm provides deviation in the range 1 % (through 10 %) at the expense of inaccurate assessments rejection

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

## REFERENCES

- [1] План ликвидации аварийных разливов нефтепродуктов на целостном имущественном комплексе ООО «Нафтасервис Шиппинг» [Текст] : план чрезвычайных мер по ЛАРН при перегрузке. — Николаев, 2002. — 32 с.
- [2] План локализации и ликвидации аварийных ситуаций и аварий на сухой док и достроечную набережную №1, 2, расположенных на территории предприятия ОАО «Вадан Ярдс Океан» [Текст] : техническая документация. — Николаев, 2010. — 104 с.
- [3] План локализации и ликвидации аварийных ситуаций и аварий на уровне «В» на ацетиленовой станции ООО «Кредо-Океан» [Текст] : техническая документация. — Николаев, 2005. — 98 с.
- [4] **Рыжков, С.С.** Методика идентификации и оценки значимости экологических аспектов [Текст] / С.С. Рыжков, И.В. Ремешевская // Зб. наук. пр. НУК. — Миколаїв : Видавництво НУК, 2009. — № 2 (425). — С. 157–164.
- [5] **Рюмина, Е.В.** Оценка экономического ущерба от экологических нарушений при разработке планов и программ [Текст] / Е. В. Рюмина // Проведение оценки воздействия на окружающую среду в государствах-участниках СНГ и странах Восточной Европы // Государственный центр экологических программ. — М., 2004. — С. 33–40.
- [6] **Саати, Т.** Принятие решений — метод анализа иерархий [Текст] / Т. Саати. — М. : Радио и связь, 1993. — 278 с.
- [7] **Тимченко, І.В.** Вдосконалення системи комп'ютеризованого екологічного моніторингу перевантаження шкідливих рідин в акваторіях морських портів [Текст] : автореф. дис. на здоб. наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 21.06.01 «Екологічна безпека» / Тимченко Інна Вікторівна. — Миколаїв, 2010. — 21 с.
- [8] **Файнзильберг, Л.С.** Байесова схема принятия коллективных решений в условиях противоречий [Текст] / Л. С. Файнзильберг // Проблемы управления и информатики. — 2002. — № 3. — С. 112–122.

---

© С. С. Рыжков, І. В. Тимченко

Надійшла до редколегії 13.12.2011

Статтю рекомендує до друку член редколегії Вісника НУК

д-р техн. наук, проф. *Г.В. Павлов*

Статтю розміщено у Віснику НУК №1, 2012