



Igor I. Kovalenko
Коваленко
Игорь
Иванович

УДК 519.24:629.5.083.5
К 56

PROBABILITY ANALYSIS OF RISK-CONTRIBUTING FACTORS IN ORGANIZATIONAL TASKS OF SHIP REPAIR

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ РИСКООБРАЗУЮЩИХ ФАКТОРОВ В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ ЗАДАЧАХ СУДОРЕМОНТА

DOI 10.15589/SMI20140205

Igor I. Kovalenko

И. И. Коваленко, д-р техн. наук, проф.¹

igor.kovalenko@nuos.edu.ua

ORC ID: 0000-0003-2655-6667

Alyena V. Shved

А. В. Швед, канд. техн. наук, ст. преподаватель²

helenashv@mail.ru

ORC ID: 0000-0003-4372-7472

Anton V. Melnik

А. В. Мельник, ст. лаборант¹

anton.melnyk@nuos.edu.ua

ORC ID: 0000-0002-6636-534X



Alyena V. Shved
Швед
Алена
Владимировна



Anton V. Melnik
Мельник
Антон
Витальевич

¹ *Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Nikolaev*

² *Petro Mohyla Chernomorsky State University, Nikolaev*

¹ *Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев*

² *Черноморский государственный университет имени Петра Могилы, г. Николаев*

Abstract. The ship repair process is a complex technological process affected by rather large number of risk-contributing factors: the cost of repairs, repair durations, quality of repair, the presence of the necessary production facilities and personnel, etc. It highlights the problem of analysis, prediction and forecasting of the impact of these factors in order to solve effectively a number of organizational measures which precede the implementation of the ship repair works. For the account of a variety of factors which affect the course of the ship repair process the automated information systems which contain the developed databases are developed at the enterprises. Because of the versatility the existing information systems of the dockyards management can not display the specifics of the ship repair and are mainly focused on the management of the financial costs at the enterprise. A common drawback of such systems is the lack of decision support modules in them which limits their function in the production management. The aim of this article is to consider the possibility of appliance of the model to support the decision making under the conditions of risk which are presented by the probability trees at which the tasks of probabilistic inference and the development of a number of illustrative examples are solved. Preliminary, each risk-contributing factor which represents a system of random events is graphically displayed in the form of the distribution tree. Each branch of the distribution tree displays a single random event and its probability to be fulfilled. The combination of such trees received by their joint leads to the probabilities tree. Each node (the top) of such tree is connected with one complete system of random events. Each event and the probability of its fulfillment are displayed by the tree branch which comes from the corresponding node. Each path in the tree from the root node to the final position shows one of the possible combinations of events which are called a script. This approach can be successfully applied for the analysis of various organizational and technical problems of the ship repair under the conditions of uncertainty.

Keywords: risk, uncertainty, probability inference, graph.

Аннотация. Рассмотрена процедура построения деревьев вероятностей и расчета соотношений вероятностного вывода на них. Предложен ряд примеров, иллюстрирующих возможности применения вероятностного вывода для анализа различных организационных и организационно-технических задач судоремонта в условиях неопределенности и риска.

Ключевые слова: риск, неопределенность, вероятностный вывод, граф.

Анотація. Розглянуто процедуру побудови дерев імовірностей та розрахунку співвідношень імовірнісного виводу на них. Запропоновано ряд прикладів, які ілюструють можливості застосування ймовірнісного виводу при аналізі різних організаційних та організаційно-технічних задач судноремонту в умовах невизначеності та ризику.

Ключові слова: ризик, невизначеність, імовірнісний вивід, граф.

References

Ben A. P., Tereshchenkova O. V., Radin V. K. Sistema poderzhki prinyatiy resheniy opeativnogo kontolia sudoremonta [Decision support system of operational control of ship repair]. *Vestnik Khersonskogo natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Kherson National Technical University], 2008 issue 3, no. 32, pp. 49–53.

Ben A. P., Tereshchenkova O. V. Primeneniye kombinirovannykh system metodov planirovaniya v sudoremontnoy otrasli [Application of combined network planning methods in ship repair industry]. *Naukovo-tekhnichniy zhurnal "Avtomatika. Avtomatizatsiia. Elektrotekhnichni komplekсы ta systemy" — Scientific and technical journal "Automation. Automation. Electrotechnical complexes and systems"*, 2010, issue 1, no. 25, pp. 96–100.

Ben A. P., Tereshchenkova O. V. Ispolzovaniye metoda analiza ierarkhiy dlya prinyatiya resheniy v sfere sudoremonta [The usage of the hierarchy analysis method for decision-making in the field of ship repair]. *Vestnik Khersonskogo natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Kherson National Technical University], 2009, issue 1, no. 34, pp. 434–437.

Ben A. P., Bezbakh O. M., Tereshchenkova O. V. Avtomatizirovannaya informatsionnaya sistema po upravleniyu protsessom sudoremonta [Automated information system on management of ship repair process]. *Vestnik Khersonskogo natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of Kherson National Technical University], 2004, issue 1, no. 19, pp. 281–285.

Balyakin O. K., Sedykh V. I., Tarasov V. V. *Tekhnologiya sudoremonta* [Ship Repair Technology]. Moscow, Transport Publ., 1992. 165 p.

Blinov E. K. *Tekhnicheskaya ekspluatatsiya flota i sovremennyye metody sudoremonta* [Technical operation of the fleet and modern methods of ship repair]. Leningrad, Sudostroeniye Publ., 1990. 216 p.

Blinov E. K., Rozenberg G. Sh. *Tekhnicheskoe obsluzhivanie i remont sudov po sostoyaniyu* [Maintenance and repair of vessels as required]. Leningrad, Sudostroeniye Publ., 1992. 302 p.

Gmurman V. E. *Teoriya veroyatnosti i matematicheskaya statistika* [Probability theory and mathematical statistics]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1979. 368 p.

Kovalenko I. I., Dragan S. V., Sagan V. Ya. *Sistemnyy analiz zadach sudovogo korpusostroeniya* [System analysis of tasks of marine case production]. Nikolaev, Ilion Publ., 2010. 176 p.

Uzhga-Rebrov O. I. *Sovremennye kontseptsii i prilozheniya teorii veroyatnostey* [Modern concepts and applications of probability theory]. Rezekne, RA Izdevnieciba Publ., 2004. 292 p.

Problem statement. In recent years, due to the lack of government contracts for shipbuilding the shipbuilding enterprises tend to perform ship repair works [1, 2].

Ship repair is a complex technological process, which is influenced by a sufficiently large number of the risk-contributing factors: the cost of repairs, time limits, repair duration, repair quality, availability of the necessary production facilities and staff etc. [2].

This highlights the problem of analysis, prediction and forecasting of the impact of these factors in order to effectively solve a number of organizational measures preceding the direct implementation of ship repair works. For example, when deciding on the contract conclusion the ship company (Customer) will be primarily interested in such factors as the cost of repair, repair duration and quality etc. On the other hand, the shipbuilding (ship repair) enterprise (Contractor) should assess their capabilities before deciding to perform the repair order in terms of availability of the necessary production facilities and personnel, supplies of the necessary materials and components, specifications and the need to engage contractors etc.

To take into account a variety of factors affecting the course of the ship repair process, the enterprises create the automated information systems which include the database (DB) development.

Постановка проблемы. В последние годы вследствие отсутствия государственных заказов на постройку судов в деятельности судостроительных предприятий наметилась тенденция к выполнению судоремонтных работ [1, 2].

Судоремонт представляет собой сложный технологический процесс, на который оказывают влияние достаточно большое число рискообразующих факторов: стоимость ремонтных работ, сроки продолжительность ремонта, качество ремонта, наличие необходимых производственных мощностей и персонала и ряд других [2].

Это выдвигает задачи анализа, прогнозирования и предвидения воздействия перечисленных факторов с целью эффективного решения ряда организационных мероприятий, предшествующих непосредственному выполнению судоремонтных работ. Так, например, при принятии решения о заключении контракта судовую компанию (Заказчик) прежде всего будут интересовать такие факторы, как стоимость ремонтных работ, продолжительность, качество ремонта и др. С другой стороны, судостроительное (судоремонтное) предприятие (Исполнитель) перед принятием решения о выполнении ремонтного заказа должно оценить свои возможности в плане наличия необходимых производственных мощностей и персонала, запасов необходимых материалов и комплектующих изделий, нормативно-технической документации, необходимость привлечения контрагентов и др.

The analysis of the existing information systems of the ship repair enterprises management enables to outline the following ones which became the most widespread [1, 2, 5]: “1C Enterprise”, “Galaktika” (“Galaxy”), “Parus” (“Sail”), “Marine 2000”, “TRIM”, “MART”. However, these systems can not display the specific features of ship repair because of its versatility and are focused mainly on the management of the financial expenditures of the enterprise.

A common drawback of these systems is also the lack of decision support modules in them which limits their functions of production management. In this regard, the formation of the specialized decision support systems (DSS) of ship repair enterprises with the modern mathematical methods and software is an urgent scientific and practical task.

Latest research and publications analysis. In the DSS construction the focus is directed to a method of decision-making itself, to the decision rule construction. The knowledge base (KB) of the DSS typically includes the input data and the procedures of the logical choice (decision rules). Thus, the main element of the DSS is the decision-making method [9].

Consequently, the important question is the sound application of decision-making methods.

The analysis of publications on the latest research and development in the field of the ship repair DSS development [1–7] leads to the conclusion that the solution to this problem is in the initial state.

It should be noted that the DSS implemented in the ship repair industry basically solve the problems of constructing and optimizing of repair graphs presented by network models. At the same time the methods of optimization, the analytic hierarchy process, the fuzzy sets etc. are used as the decision-making methods. However, speaking about the decision-making in the conditions of the risk-contributing factors, the conventional methods of the probability theory should be used for the risk analysis.

It should be also noted that the scenario-based approach for the decision making under risk conditions based on the probability inference on the probability trees is rapidly developing now. This approach can be used as a basis for the DSS construction in the organizational problems of ship repair.

The article aim is to consider the possibility of the probability inference usage in the analysis of the risk-contributing factors of the organizational problems of the ship repair and the development of a number of illustrative examples.

Basic material. The models presented by the probability trees, with the help of which the probabilistic inference problems are solved, can be used for the decision-making under the risk conditions [10]. Previously each of the risk-contributing factors which represent a system

Для учета многообразия факторов, влияющих на ход судоремонтного процесса, на предприятиях создаются автоматизированные информационные системы, содержащие в своем составе развитые базы данных (БД).

Анализ существующих информационных систем управления судоремонтными предприятиями позволяет выделить следующие, получившие наиболее широкое распространение [1, 2, 5]: «1С Предприятие», «Галактика», «Парус», «Marine 2000», «TRIM», «МАРТ». Однако эти системы в силу своей универсальности не могут отобразить специфику судоремонта и ориентированы преимущественно на управление финансовыми затратами на предприятии.

Общим недостатком перечисленных систем является также отсутствие в них модулей поддержки принятия решений, что ограничивает их функции по управлению производством. В этой связи создание специализированных систем поддержки принятия решений (СППР) судоремонтных предприятий, оснащенных современными математическими методами и программными средствами, представляет собой актуальную научную и практическую задачу.

Анализ последних исследований и публикаций. При построении СППР основное внимание направлено на сам метод принятия решений, на построение решающего правила. База знаний (БЗ) СППР обычно включает в себя входные данные и процедуры логического выбора (решающие правила). Таким образом, основной элемент СППР — метод принятия решений [9].

Следовательно, важным является вопрос обоснованного применения того или иного метода принятия решений.

Анализ публикаций, посвященных последним исследованиям и разработкам в области создания СППР судоремонта [1–7] позволяет сделать вывод, что решение данной проблемы находится в начальном состоянии.

Следует отметить, что СППР, реализуемые в судоремонтной отрасли, в основном решают задачи построения и оптимизации графиков ремонта, которые представлены сетевыми моделями. При этом в качестве методов принятия решений используются методы многомерной оптимизации, анализа иерархий, нечетких множеств и др. Вместе с тем, говоря о принятии решений в условиях наличия рискообразующих факторов, для анализа рисков следует применять общепринятые методы теории вероятностей.

Следует также отметить, что в настоящее время интенсивно развивается сценарный подход для принятия решений в условиях риска на основе вероятностного вывода на деревьях вероятностей. Такой подход может быть положен в основу построения СППР в организационных задачах судоремонта.

ЦЕЛЮ СТАТЬИ является рассмотрение возможности применения вероятностного вывода в анализе рискообразующих факторов организационных задач судоремонта и разработка ряда иллюстративных примеров.

of the random events is graphically displayed in the form of the distribution tree (Fig. 1). Each branch of the distribution tree displays one random event and the probability (p) of its implementation. The combination of such trees, received by combining them lead to the probability tree (Fig. 2) which is a tree graph. Each node (vertex) of such graph is associated with one complete system of random events. Each event and its performance probability are displayed by a tree branch which comes out of the corresponding node. Each path in the tree from the root node to the end point represent one of the possible combinations of events which is called a scenario [10].

Probabilities tree in Fig. 2 represents eight possible scenarios (indicated as a sequence of numbers in brackets).

Изложение основного материала. Для принятия решений в условиях риска могут использоваться модели, представленные деревьями вероятностей, на которых решаются задачи вероятностного вывода [10]. Предварительно каждый рискообразующий фактор, представляющий систему случайных событий, графически отображается в форме дерева распределения (рис. 1). Каждая ветвь дерева распределения отображает одно случайное событие и вероятность (p) его осуществления. Комбинации таких деревьев, полученные их объединением, приводят к дереву вероятностей (рис. 2), которое представляет собой древовидный граф. Каждый узел (вершина) такого графа связан с одной полной системой случайных событий. Каждое событие и вероятность его осуществления отображается ветвью дерева, выходящей из соответствующего узла. Каждый путь на дереве от корневого

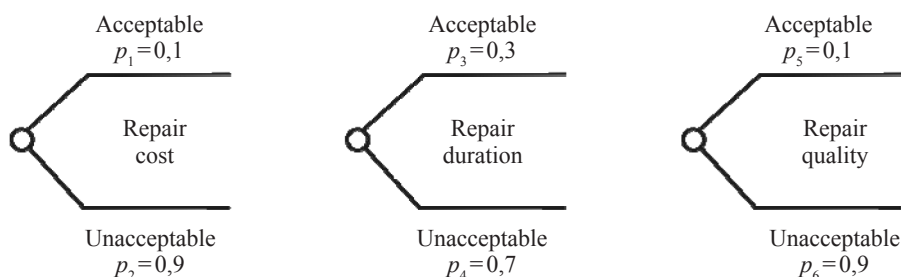


Fig. 1. Distribution Trees of Systems of Random Risk-Contributing Events

Рис. 1. Деревья распределений систем случайных рискообразующих событий

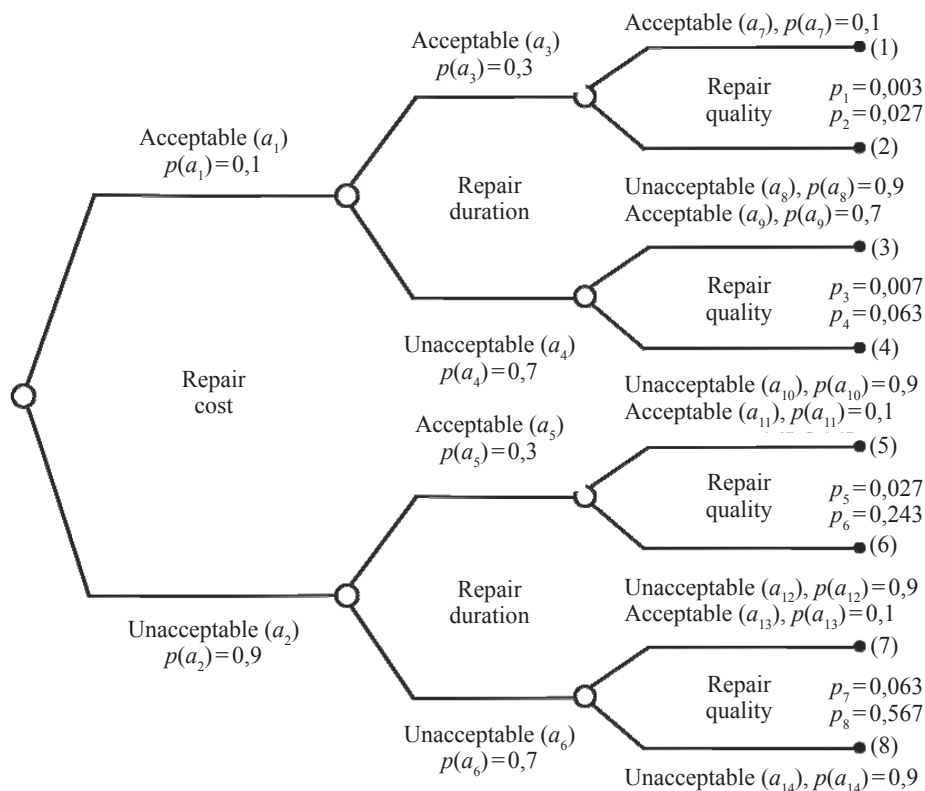


Fig. 2. Probabilities Tree of Random Risk-Contributing Events under Ship Repair Works Contract Execution

Рис. 2. Дерево вероятностей случайных рискообразующих событий при заключении контракта на выполнение судоремонтных работ

As each scenario is formed by one possible combination of events, one from each of the complete system of events, the total number of scenarios can be calculated before the probability tree construction as

$$N = \prod_{i=1}^m n_i,$$

where n_i is the number of events in the i -th system; m is the total number of systems of random events.

Probability of occurrence of the events can be obtained in two ways: the objective one, based on the frequency approach which uses statistical data about the past events implementations in the ship repair enterprise for a certain period of time; the subjective one, based on the procedures for expert estimations obtaining and processing.

Let's consider the examples which illustrate the analysis of some organizational problems of ship repair using the probability trees and the probability inference.

Example 1. The task of the shipping company is to choose a ship repair enterprise for the ship repair contract execution. Probability tree of the most important risk-contributing factors which affecting the contract execution is shown in Fig. 2.

Let's perform the necessary probability calculations on it. First, let's define the probabilities of each scenario implementation taking into account the obtained probabilities of each of the events included in this scenario [10]:

- (1): $P_1(a_1, a_3, a_7) = p(a_1) \cdot p(a_3) \cdot p(a_7) = 0.1 \cdot 0.3 \cdot 0.1 = 0.003$;
- (2): $P_2(a_1, a_3, a_8) = p(a_1) \cdot p(a_3) \cdot p(a_8) = 0.1 \cdot 0.3 \cdot 0.9 = 0.027$;
- (3): $P_3(a_1, a_4, a_9) = p(a_1) \cdot p(a_4) \cdot p(a_9) = 0.1 \cdot 0.7 \cdot 0.1 = 0.007$;
- (4): $P_4(a_1, a_4, a_{10}) = p(a_1) \cdot p(a_4) \cdot p(a_{10}) = 0.1 \cdot 0.7 \cdot 0.9 = 0.063$;
- (5): $P_5(a_2, a_5, a_{11}) = p(a_2) \cdot p(a_5) \cdot p(a_{11}) = 0.9 \cdot 0.3 \cdot 0.1 = 0.027$;
- (6): $P_6(a_2, a_5, a_{12}) = p(a_2) \cdot p(a_5) \cdot p(a_{12}) = 0.9 \cdot 0.3 \cdot 0.9 = 0.243$;
- (7): $P_7(a_2, a_6, a_{13}) = p(a_2) \cdot p(a_6) \cdot p(a_{13}) = 0.9 \cdot 0.7 \cdot 0.1 = 0.063$;
- (8): $P_8(a_2, a_6, a_{14}) = p(a_2) \cdot p(a_6) \cdot p(a_{14}) = 0.9 \cdot 0.7 \cdot 0.9 = 0.567$;

$$P = \sum_{i=1}^8 P_i = 0.03 + 0.027 + 0.07 + 0.063 + 0.027 + 0.243 + 0.063 + 0.567 = 1.$$

From the obtained results analysis we can make a conclusion that the scenario (8) is the most negative. The scenario (1) has a minimal probability of its implementation at the acceptable risk-contributing factors rates. For the example considered, the most appropriate scenario is obviously the (6) one, but in such a case the Customer must sacrifice its cost and quality for its repair duration.

Let's extend our analysis by means of the determination of the probability of occurrence of at least one of the

узла до конечной позиции отображают одну из возможных комбинаций событий, которая называется сценарием [10].

Дерево вероятностей на рис. 2 представляет восемь возможных сценариев (обозначены последовательностью цифр в скобках).

Поскольку каждый сценарий образует одна возможная комбинация событий, по одному из каждой полной системы событий, общее число сценариев может быть подсчитано еще до конструирования дерева вероятностей как

$$N = \prod_{i=1}^m n_i,$$

где n_i — число событий в i -й системе; m — общее число систем случайных событий.

Вероятности осуществления событий могут быть получены двумя способами: объективным, на основе частотного подхода, использующего статистические данные о прошлых реализациях событий на судоремонтном предприятии за определенный период времени; субъективным, в основе которого лежат процедуры получения и обработки экспертных оценок.

Рассмотрим примеры, иллюстрирующие анализ некоторых организационных задач судоремонта с применением деревьев вероятности и вероятностного вывода.

Пример 1. Перед судоходной компанией стоит задача выбора судоремонтного предприятия для заключения контракта на выполнение ремонта судов. Дерево вероятностей наиболее значимых рискообразующих факторов, влияющих на заключение контракта, представлено на рис. 2.

Выполним необходимые вероятностные расчеты на нем. Прежде всего определим вероятности реализации каждого из сценариев с учетом полученных вероятностей каждого из событий, входящих в данный сценарий [10]:

- (1): $P_1(a_1, a_3, a_7) = p(a_1) \cdot p(a_3) \cdot p(a_7) = 0.1 \cdot 0.3 \cdot 0.1 = 0.003$;
- (2): $P_2(a_1, a_3, a_8) = p(a_1) \cdot p(a_3) \cdot p(a_8) = 0.1 \cdot 0.3 \cdot 0.9 = 0.027$;
- (3): $P_3(a_1, a_4, a_9) = p(a_1) \cdot p(a_4) \cdot p(a_9) = 0.1 \cdot 0.7 \cdot 0.1 = 0.007$;
- (4): $P_4(a_1, a_4, a_{10}) = p(a_1) \cdot p(a_4) \cdot p(a_{10}) = 0.1 \cdot 0.7 \cdot 0.9 = 0.063$;
- (5): $P_5(a_2, a_5, a_{11}) = p(a_2) \cdot p(a_5) \cdot p(a_{11}) = 0.9 \cdot 0.3 \cdot 0.1 = 0.027$;
- (6): $P_6(a_2, a_5, a_{12}) = p(a_2) \cdot p(a_5) \cdot p(a_{12}) = 0.9 \cdot 0.3 \cdot 0.9 = 0.243$;
- (7): $P_7(a_2, a_6, a_{13}) = p(a_2) \cdot p(a_6) \cdot p(a_{13}) = 0.9 \cdot 0.7 \cdot 0.1 = 0.063$;
- (8): $P_8(a_2, a_6, a_{14}) = p(a_2) \cdot p(a_6) \cdot p(a_{14}) = 0.9 \cdot 0.7 \cdot 0.9 = 0.567$;

$$P = \sum_{i=1}^8 P_i = 0.03 + 0.027 + 0.07 + 0.063 + 0.027 + 0.243 + 0.063 + 0.567 = 1.$$

Из анализа полученных результатов можно заключить, что сценарий (8) является самым негативным. Сценарий (1) при приемлемых показателях рискообразующих факторов обладает минимальной

events which make up each scenario. For this, let A be the event which appears at least from one of the events $a_1, a_2, \dots, a_n$, and let's use the following expression from [8]:

$$P(A) = 1 - q(\overline{a_1}) \cdot q(\overline{a_2}) \cdot \dots \cdot q(\overline{a_n}),$$

where $\overline{a_i}$ is the event opposite to the a_i event, and $q(\overline{a_i}) = 1 - p(a_i)$ is the probability of the implementation of the $\overline{a_i}$ opposite event.

Then for each of the eight scenarios considered we have:

$$(1): P(A_{(1)}) = 1 - \{[1 - p(a_1)] \cdot [1 - p(a_3)] \cdot [1 - p(a_7)]\} = 1 - (0.9 \cdot 0.7 \cdot 0.9) = 0.433;$$

$$(2): P(A_{(2)}) = 1 - \{[1 - p(a_1)] \cdot [1 - p(a_3)] \cdot [1 - p(a_8)]\} = 1 - (0.9 \cdot 0.7 \cdot 0.1) = 0.937;$$

$$(3): P(A_{(3)}) = 1 - \{[1 - p(a_1)] \cdot [1 - p(a_4)] \cdot [1 - p(a_9)]\} = 1 - (0.9 \cdot 0.3 \cdot 0.9) = 0.757;$$

$$(4): P(A_{(4)}) = 1 - \{[1 - p(a_1)] \cdot [1 - p(a_4)] \cdot [1 - p(a_{10})]\} = 1 - (0.9 \cdot 0.3 \cdot 0.1) = 0.973;$$

$$(5): P(A_{(5)}) = 1 - \{[1 - p(a_2)] \cdot [1 - p(a_5)] \cdot [1 - p(a_{11})]\} = 1 - (0.1 \cdot 0.7 \cdot 0.9) = 0.937;$$

$$(6): P(A_{(6)}) = 1 - \{[1 - p(a_2)] \cdot [1 - p(a_5)] \cdot [1 - p(a_{12})]\} = 1 - (0.1 \cdot 0.7 \cdot 0.1) = 0.993;$$

$$(7): P(A_{(7)}) = 1 - \{[1 - p(a_2)] \cdot [1 - p(a_6)] \cdot [1 - p(a_{13})]\} = 1 - (0.1 \cdot 0.3 \cdot 0.9) = 0.973;$$

$$(8): P(A_{(8)}) = 1 - \{[1 - p(a_2)] \cdot [1 - p(a_6)] \cdot [1 - p(a_{14})]\} = 1 - (0.1 \cdot 0.3 \cdot 0.1) = 0.997.$$

The obtained results further confirm the previously made entries. Thus, the negative characteristic feature of the eighth scenario is also enhanced by the fact that one of the unacceptable events ($P(A_{(8)}) = 0.997$) will occur almost surely.

The conclusion made in respect of the first scenario is supported by the low value of the ($P(A_{(1)}) = 0.433$) probability of one of the three eligible events. As for the sixth scenario, its attraction in the considered example is confirmed by the high value of the ($P(A_{(6)}) = 0.993$) probability of the implemented a_5 event.

Example 2. Let's consider the probability analysis task aimed at the forecasting of the portfolio of orders of the ship repair enterprise which seeks to maintain a leading position in the particular market segment. All the underlying information of the task is presented by the initial tree in Fig. 3.

It is supposed that the expected state of orders for ship repair can be represented by two events: a_1 is expansion and a_2 is reduction of the portfolio of orders. Depending on that the state of the enterprise affairs is represented

вероятностью своей реализации. Для рассмотренного примера, очевидно, наиболее приемлемым является сценарий (6), однако при этом заказчик должен ради длительности ремонта поступиться его стоимостью и качеством.

Расширим наш анализ посредством определения вероятности появления хотя бы одного из событий, составляющих каждый сценарий. Для этого обозначим через A событие, состоящее в появлении хотя бы одного из событий $a_1, a_2, \dots, a_n$, и воспользуемся следующим выражением из [8]:

$$P(A) = 1 - q(\overline{a_1}) \cdot q(\overline{a_2}) \cdot \dots \cdot q(\overline{a_n}),$$

где $\overline{a_i}$ — событие противоположное событию a_i , а $q(\overline{a_i}) = 1 - p(a_i)$ — вероятность реализации противоположного события $\overline{a_i}$.

Тогда для каждого из восьми рассматриваемых сценариев имеем:

$$(1): P(A_{(1)}) = 1 - \{[1 - p(a_1)] \cdot [1 - p(a_3)] \cdot [1 - p(a_7)]\} = 1 - (0.9 \cdot 0.7 \cdot 0.9) = 0.433;$$

$$(2): P(A_{(2)}) = 1 - \{[1 - p(a_1)] \cdot [1 - p(a_3)] \cdot [1 - p(a_8)]\} = 1 - (0.9 \cdot 0.7 \cdot 0.1) = 0.937;$$

$$(3): P(A_{(3)}) = 1 - \{[1 - p(a_1)] \cdot [1 - p(a_4)] \cdot [1 - p(a_9)]\} = 1 - (0.9 \cdot 0.3 \cdot 0.9) = 0.757;$$

$$(4): P(A_{(4)}) = 1 - \{[1 - p(a_1)] \cdot [1 - p(a_4)] \cdot [1 - p(a_{10})]\} = 1 - (0.9 \cdot 0.3 \cdot 0.1) = 0.973;$$

$$(5): P(A_{(5)}) = 1 - \{[1 - p(a_2)] \cdot [1 - p(a_5)] \cdot [1 - p(a_{11})]\} = 1 - (0.1 \cdot 0.7 \cdot 0.9) = 0.937;$$

$$(6): P(A_{(6)}) = 1 - \{[1 - p(a_2)] \cdot [1 - p(a_5)] \cdot [1 - p(a_{12})]\} = 1 - (0.1 \cdot 0.7 \cdot 0.1) = 0.993;$$

$$(7): P(A_{(7)}) = 1 - \{[1 - p(a_2)] \cdot [1 - p(a_6)] \cdot [1 - p(a_{13})]\} = 1 - (0.1 \cdot 0.3 \cdot 0.9) = 0.973;$$

$$(8): P(A_{(8)}) = 1 - \{[1 - p(a_2)] \cdot [1 - p(a_6)] \cdot [1 - p(a_{14})]\} = 1 - (0.1 \cdot 0.3 \cdot 0.1) = 0.997.$$

Полученные результаты дополнительно подтверждают сделанные ранее выводы. Так, отрицательная характеристика восьмого сценария усиливается еще тем, что одно из неприемлемых событий произойдет практически наверняка ($P(A_{(8)}) = 0.997$). Вывод, сделанный в отношении первого сценария, подкрепляется низким значением вероятности ($P(A_{(1)}) = 0.433$) одного из трех приемлемых событий. Что же касается шестого сценария, то его некоторая привлекательность в рассматриваемом примере подтверждается высоким значением вероятности ($P(A_{(6)}) = 0.993$) реализуемого события a_5 .

Пример 2. Рассмотрим задачу вероятностного анализа, нацеленного на прогнозирование портфеля заказов судоремонтного предприятия, которое стремится сохранить лидирующее положение на определенном сегменте рынка. Вся исходная информация задачи представлена исходным деревом на рис. 3.

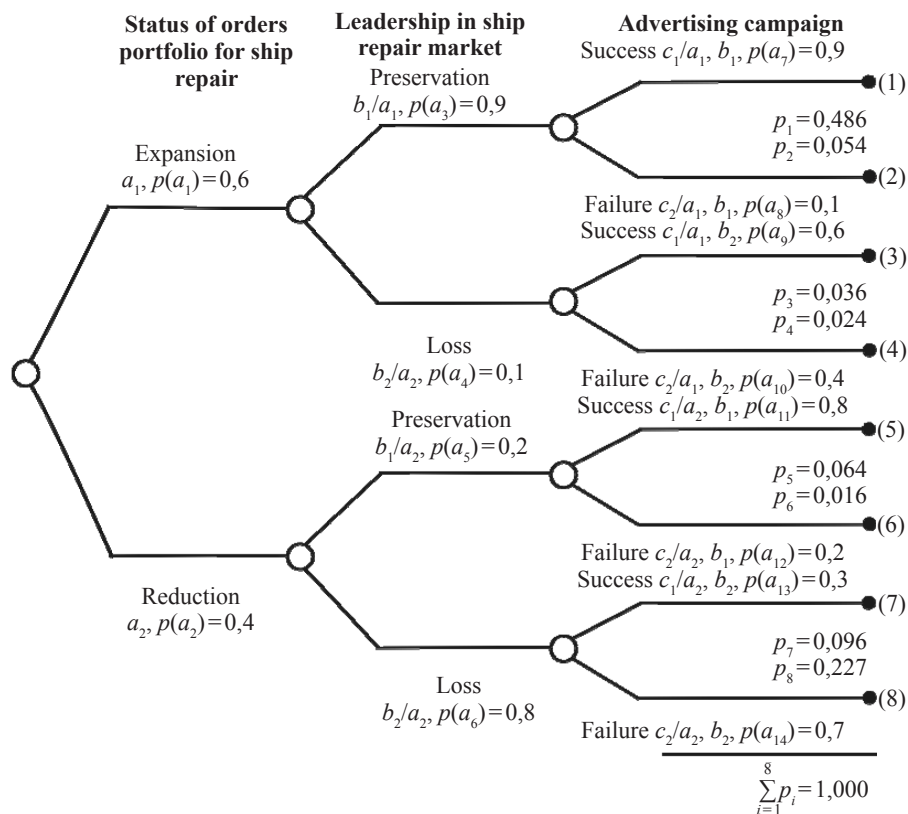


Fig. 3. Initial Probabilities Tree

Рис. 3. Исходное дерево вероятностей

by the following events: b_1 — the company will maintain its leading position and b_2 — the leading position may be lost. To preserve the leading position in the market the company is planning to organize an advertising campaign which can also be associated with two events: c_1 is success and c_2 is failure.

Let's present a technique for the probabilities calculation on the example from [10].

The total probability of the advertising campaign success:

$$P(\text{success}) = P_1 + P_3 + P_5 + P_7 = 0,486 + 0,036 + 0,064 + 0,096 = 0,682.$$

The total probability of the advertising campaign failure:

$$P(\text{failure}) = P_2 + P_4 + P_6 + P_8 = 0,054 + 0,024 + 0,016 + 0,224 = 0,318.$$

Assuming that the state of the portfolio of orders and the market position depend on the expected states of the advertising campaign, let's rebuild the probabilities tree as it is shown in Fig. 4.

Probabilities of events for such a tree will be calculated using the data in Fig. 3. Thus, we have [10]:

$$p^1(c_1) = P(\text{success}) = 0,682;$$

$$p^1(c_2) = P(\text{failure}) = 0,318.$$

Полагается, что ожидаемое состояние портфеля заказов на судоремонт может быть представлено двумя событиями: a_1 — расширение и a_2 — уменьшение портфеля заказов. В зависимости от этого состояния дел предприятия представляется событиями: b_1 — предприятие сохранит лидирующее положение и b_2 — лидирующее положение может быть потеряно. Для сохранения лидирующего положения на рынке предприятие планирует организовать рекламную кампанию, которая может быть связана также с двумя событиями: c_1 — успех; c_2 — неудача.

Приведем технику вычисления вероятностей на примере из работы [10]

Полная вероятность успеха рекламной кампании:

$$P(\text{успех}) = P_1 + P_3 + P_5 + P_7 = 0,486 + 0,036 + 0,064 + 0,096 = 0,682.$$

Полная вероятность неудачи рекламной кампании:

$$P(\text{неудача}) = P_2 + P_4 + P_6 + P_8 = 0,054 + 0,024 + 0,016 + 0,224 = 0,318.$$

Полагая, что состояние портфеля заказов и положение на рынке зависят от ожидаемых состояний рекламной кампании, перестроим дерево вероятностей, как показано на рис. 4.

Вероятности событий для такого дерева рассчитаем, используя данные рис. 3. Таким образом, имеем [10]:

$$p^1(c_1) = P(\text{успех}) = 0,682;$$

$$p^1(c_2) = P(\text{неудача}) = 0,318.$$

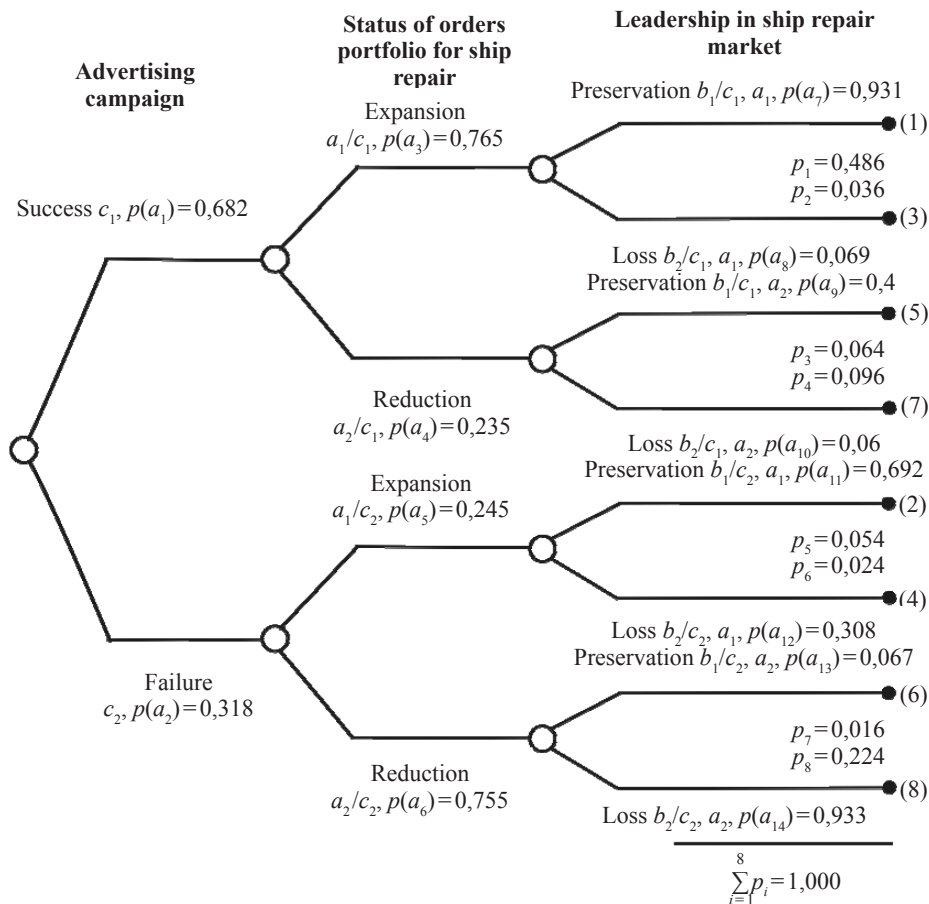


Fig. 4. Rebuilt Probabilities Tree

Рис. 4. Перестроенное дерево вероятностей

$$p(a_1/c_1) = (P_1 + P_3)/(P_1 + P_3 + P_5 + P_7) = 0,522/0,682 = 0,765;$$

$$p(a_2/c_1) = (P_5 + P_7)/(P_1 + P_3 + P_5 + P_7) = 0,160/0,682 = 0,235;$$

$$p(a_1/c_2) = (P_2 + P_4)/(P_2 + P_4 + P_6 + P_8) = 0,078/0,318 = 0,245;$$

$$p(a_2/c_2) = (P_6 + P_8)/(P_2 + P_4 + P_6 + P_8) = 0,240/0,318 = 0,755.$$

Further in view of the probability values we obtain the following:

$$p(b_1/c_1, a_1) = P_1/(p^1(c_1) \cdot p(a_1/c_1)) = 0,486/(0,682 \cdot 0,765) = 0,931;$$

$$p(b_2/c_1, a_1) = P_3/(p^1(c_1) \cdot p(a_1/c_1)) = 0,036/(0,682 \cdot 0,765) = 0,069;$$

$$p(b_1/c_1, a_2) = P_5/(p^1(c_1) \cdot p(a_2/c_1)) = 0,064/(0,682 \cdot 0,235) = 0,400;$$

$$p(b_2/c_1, a_2) = P_7/(p^1(c_1) \cdot p(a_2/c_1)) = 0,096/(0,682 \cdot 0,235) = 0,600;$$

$$p(b_1/c_2, a_1) = P_2/(p^1(c_2) \cdot p(a_1/c_2)) = 0,054/(0,318 \cdot 0,245) = 0,692;$$

$$p(b_2/c_2, a_1) = P_4/(p^1(c_2) \cdot p(a_1/c_2)) = 0,024/(0,318 \cdot 0,245) = 0,308;$$

$$p(b_1/c_2, a_2) = P_6/(p^1(c_2) \cdot p(a_2/c_2)) = 0,016/(0,318 \cdot 0,755) = 0,067;$$

$$p(b_2/c_2, a_2) = P_8/(p^1(c_2) \cdot p(a_2/c_2)) = 0,224/(0,318 \cdot 0,755) = 0,933.$$

The calculations show that in case of the success of the advertising campaign the probability of the leadership maintaining in the ship repair market is $P_1 + P_5 = 0,486 + 0,064 = 0,550$, and the probability

$$p(a_1/c_1) = (P_1 + P_3)/(P_1 + P_3 + P_5 + P_7) = 0,522/0,682 = 0,765;$$

$$p(a_2/c_1) = (P_5 + P_7)/(P_1 + P_3 + P_5 + P_7) = 0,160/0,682 = 0,235;$$

$$p(a_1/c_2) = (P_2 + P_4)/(P_2 + P_4 + P_6 + P_8) = 0,078/0,318 = 0,245;$$

$$p(a_2/c_2) = (P_6 + P_8)/(P_2 + P_4 + P_6 + P_8) = 0,240/0,318 = 0,755.$$

С учетом полученных значений вероятностей далее получаем:

$$p(b_1/c_1, a_1) = P_1/(p^1(c_1) \cdot p(a_1/c_1)) = 0,486/(0,682 \cdot 0,765) = 0,931;$$

$$p(b_2/c_1, a_1) = P_3/(p^1(c_1) \cdot p(a_1/c_1)) = 0,036/(0,682 \cdot 0,765) = 0,069;$$

$$p(b_1/c_1, a_2) = P_5/(p^1(c_1) \cdot p(a_2/c_1)) = 0,064/(0,682 \cdot 0,235) = 0,400;$$

$$p(b_2/c_1, a_2) = P_7/(p^1(c_1) \cdot p(a_2/c_1)) = 0,096/(0,682 \cdot 0,235) = 0,600;$$

$$p(b_1/c_2, a_1) = P_2/(p^1(c_2) \cdot p(a_1/c_2)) = 0,054/(0,318 \cdot 0,245) = 0,692;$$

$$p(b_2/c_2, a_1) = P_4/(p^1(c_2) \cdot p(a_1/c_2)) = 0,024/(0,318 \cdot 0,245) = 0,308;$$

$$p(b_1/c_2, a_2) = P_6/(p^1(c_2) \cdot p(a_2/c_2)) = 0,016/(0,318 \cdot 0,755) = 0,067;$$

$$p(b_2/c_2, a_2) = P_8/(p^1(c_2) \cdot p(a_2/c_2)) = 0,224/(0,318 \cdot 0,755) = 0,933.$$

Проведенные расчеты показывают, что вероятность сохранения лидерства на рынке судоремонта при успехе рекламной кампании равна $P_1 + P_5 = 0,486 + 0,064 = 0,550$, а вероятность сохранения

of maintaining a leading position in case of the failure of the advertising campaign will be $P_2 + P_6 = 0.054 + 0.016 = 0.070$.

CONCLUSION. 1. The proposed technique for the probabilities trees construction and calculating the probabilistic inference relations on them can be successfully applied to the analysis of various organizational and logistic problems of the ship repair under uncertainty conditions.

2. Application of the numerical support of the analytic calculations discussed in the article will be of great interest to the practitioners involved in the automation of the management of ship repair, shipbuilding and other enterprises.

лидирующего положения при неудаче рекламной кампании будет $P_2 + P_6 = 0,054 + 0,016 = 0,070$.

ВЫВОДЫ. 1. Предложенная техника построения деревьев вероятностей и расчета соотношений вероятностного вывода на них может быть с успехом применена для анализа различных организационных и организационно-технических задач судоремонта в условиях неопределенности.

2. Применение числового сопровождения рассмотренных в работе аналитических выкладок представит несомненный интерес для практиков, занимающихся вопросами автоматизации управления судоремонтными, судостроительными и другими предприятиями.

Список литературы

- [1] Бень, А.П. Система поддержки принятия решений оперативного контроля судоремонта [Текст] / А. П. Бень, О.В. Терещенкова, В.К. Радин // Вестник Херсонского национального технического университета. — 2008. — №3 (32). — С. 49–53.
- [2] Бень, А.П. Применение комбинированных сетевых методов планирования в судоремонтной отрасли [Текст] / А. П. Бень, О.В. Терещенкова // Автоматика. Автоматизация. Електротехнічні комплекси та системи : наук.-техн. журнал. — 2010. — №1 (25). — С. 96–100.
- [3] Бень, А.П. Использование метода анализа иерархий для принятия решений в сфере судоремонта [Текст] / А. П. Бень, О.В. Терещенкова // Вестник Херсонского национального технического университета. — 2009. — №1 (34). — С. 434–437.
- [4] Бень, А.П. Автоматизированная информационная система по управлению процессом судоремонта [Текст] / А. П. Бень, О. М. Безбах, О. В. Терещенкова // Вестник Херсонского государственного технического университета. — 2004. — №1 (19). — С. 281–285.
- [5] Балякин, О.К. Технология судоремонта [Текст] / О.К. Балякин, В.И. Седых, В.В. Тарасов. — М. : Транспорт, 1992. — 165 с.
- [6] Блинов, Э.К. Техническая эксплуатация флота и современные методы судоремонта [Текст] / Э.К. Блинов. — Л. : Судостроение, 1990. — 216 с.
- [7] Блинов, Э.К. Техническое обслуживание и ремонт судов по состоянию [Текст] : справочник / Э.К. Блинов, Г.Ш. Розенберг. — Л. : Судостроение, 1992. — 302 с.
- [8] Гмурман, В.Е. Теория вероятности и математическая статистика [Текст] / В.Е. Гмурман. — М. : Высшая школа, 1979. — 368 с.
- [9] Коваленко, И.И. Системный анализ задач судового корпусостроения [Текст] / И.И. Коваленко, С.В. Драган, В.Я. Сагань. — Николаев : Илион, 2010. — 176 с.
- [10] Ужга-Ребров О.И. Современные концепции и приложения теории вероятностей [Текст] / О.И. Ужга-Ребров. — Резекне: RA Izdevniecība, 2004. — 292 с.

© И. И. Коваленко, А. В. Швед, А. В. Мельник

Статью рекомендует в печать
д-р техн. наук, проф. К. В. Кошкин

КНИЖНАЯ ПОЛКА



В монографии рассмотрены принципы проектирования судов с ограниченным районом плавания с использованием инструментов теории риска. Показаны различные факторы, влияющие на риск эксплуатации данных судов. Приведен технико-экономический метод анализа и контроля риска переломов корпусов судов. Обоснование решений при подготовке проектов новых судов с ограниченным районом плавания для строительства на отечественных верфях, предлагаемые в настоящем пособии, базируются на систематизации и анализе накопленного в подобных условиях значительного технического и практического опыта обеспечения надежности, безопасности и эффективности подобных судов на этапах изменения классов, модернизаций, ремонтов, реноваций, разовых переходов, расширений районов плавания.

