

УДК 656.61.052:519.816

ОЦЕНКА РИСКОВ ШВАРТОВНЫХ ОПЕРАЦИЙ У МОНОБУЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАЙЕСОВСКОЙ СЕТИ ДОВЕРИЯ

Матвиенко Нестор Николаевич¹, аспирант

e-mail: nestormtv@yandex.ru

¹ Морской государственный университет имени адмирала Г.И. Невельского, Владивосток, Россия

Аннотация. В статье представлена модель оценки рисков швартовных операций у монобоя, построенная на основе Байесовской сети доверия в среде GeNIe. Изучено влияние гидрометеорологических условий, человеческого фактора и технического состояния оборудования на общую безопасность маневрирования. Предложенный метод позволяет проводить динамический количественный расчет вероятности аварийных инцидентов. Результаты верификации подтвердили высокую чувствительность модели к изменениям внешних условий, что делает её эффективным инструментом поддержки принятия решений.

Ключевые слова: швартовные операции, монобуй, оценка рисков, Байесовская сеть доверия, безопасность мореплавания, вероятностное моделирование, предотвращение аварий.

RISK ASSESSMENT OF MOORING OPERATIONS AT A MONOBUOY USING A BAYESIAN BELIEF NETWORK

Nestor N. Matvienko¹, Doctoral Student

e-mail: nestormtv@yandex.ru

¹ Admiral Nevelskoy Maritime State University, Vladivostok, Russia

Abstract. This article presents a risk assessment model for mooring operations near a monobuoy, built using a Bayesian belief network in the GeNIe environment. The influence of hydrometeorological conditions, human factors, and equipment technical condition on the overall safety of maneuvering is studied. The proposed method enables dynamic quantitative calculation of the probability of accidents. Verification results confirmed the model's high sensitivity to changes in external conditions, making it an effective decision support tool.

Keywords: mooring operations, monobuoy, risk assessment, Bayesian belief network, maritime safety, probabilistic modeling, accident prevention.

Введение

Швартовные операции у монобоя являются одними из самых сложных операций в морском судоходстве. Они сопряжены со множеством факторов, такие как ветер, течение, волнение, скорость сближения судна, квалификация и компетенция задействованного

персонала судна и терминала и др. [1]. Столь сложная и многофакторная операция требует надёжной и корректной системы оценки рисков.

В большинстве случаев, для рутинных операций (швартовка, палубные работы, плавание в стесненных условиях) судоводители используют метод формализованной оценки рисков, которая подробно описана в резолюции ИМО MSC/Circ.1023 — MEPC/Circ.392 [2]. Данный метод основан на матрицах рисков и представляет собой детерминированный подход, где риск является произведением частоты опасной ситуации на тяжесть её последствий. Он прост, стандартизирован и требует минимальных вычислительных ресурсов.

Помимо вышеуказанных достоинств, формализованный метод оценки рисков имеет ряд серьёзных недостатков. Отсутствует механизм оперативного пересчета при поступлении новых данных (например изменения условий) [3]. В данном методе имеется допущение того, что все факторы независимы друг от друга, в то время как на практике это совсем не так [4]. Частота и тяжесть опасной ситуации оцениваются качественно (шкала 1 – 5), что приводит к потере точности и систематическому отклонению в оценках [5]. Для сложных систем, в которых имеются несколько десятков рисков, матрица становится громоздкой, требует ручного анализа подсистем, что создаёт дополнительную нагрузку на работу судоводителя. Применение формализованного метода ограничивается ранжированием объектов по степени приоритетности, не обеспечивая при этом возможности проведения сценарного моделирования и оценки альтернативных состояний системы в рамках анализа «что, если» [6].

Все вышеуказанные недостатки могут быть устранены с использованием Байесовской сети доверия — вероятностной графической моделью, представляющей собой множество переменных и их условные зависимости через направленный ациклический граф [7]. Такой метод обладает динамическим обучением, возможностью моделирования сложных зависимостей, позволяет работать с неопределённостями. С его помощью намного удобнее и нагляднее контролировать причинно-следственную связь возникновения того или иного риска. Внедрение Байесовской сети доверия в судоходство может значительно повысить точность оценки рисков, при этом снизив документальную нагрузку на судоводителя.

Цель работы: составить Байесовскую сеть доверия для оценки рисков при швартовке судна к монобую на базе программного обеспечения (ПО) GeNIe.

Определение корневых узлов

При построении любой Байесовской сети доверия в первую очередь необходимо определить переменные – взаимосвязанные друг с другом возможные события. Эти события условно можно разделить на две категории: факторы и последствия. В теории построения Байесовских сетей доверия факторы – это корневые узлы, а последствия – дочерние. В случае с швартовочными операциями к монобую все факторы делятся на три группы:

- 1) гидрометеорологические условия: ветер, течение, волнение, видимость, ледовая обстановка;
- 2) человеческий фактор: опыт капитана, вахтенных помощников, членов швартовочной команды, степень усталости экипажа, помощь лоцмана и (или) ответственного лица терминала;
- 3) исправность оборудования: минимальная глубина места, конструкция монобоя, прочность швартовочных концов, помощь буксиров, состояние судовых механизмов, надёжность связи «мостик – палуба».

Международный морской форум нефтяных компаний в руководстве [8] регламентирует следующие допустимые ограничения гидрометеорологических условий: скорость ветра не



более 35 узлов (17,5 м/с), высота значительной волны не более 3,5 м, максимальная высота волны не более 4,5 м, видимость не менее 1000 м. Допустимая ледовая обстановка определяется ледовым классом судна. Из вышеуказанного следует, корневыми узлами, характеризующими гидрометеорологические условия, будут являться следующие события:

- 1) скорость ветра больше 17,5 м/с;
- 2) высота значительной волны больше 3,5 м;
- 3) максимальная высота волны больше 4,5 м;
- 4) видимость меньше 1000 м;
- 5) ухудшение ледовой обстановки до уровня, превышающего требования к ледовому классу судна.

Вероятность вышеперечисленных событий может быть легко определена с помощью прогнозов погоды.

Человеческий фактор определяется компетенцией, опытом и степенью усталости всех задействованных лиц. Компетенция определяется наличием у членов экипажа необходимой подготовки, в соответствии с международными, национальными и компанейскими требованиями, опыт – количеством участия в швартовных операциях у монобуксы, усталость – количеством часов отдыха за минувшие сутки и неделю. Международная организация труда в Конвенции о труде в морском судоходстве определила минимальные требования касательно часов работы и отдыха членов экипажей судов: не менее 10 часов в сутки (любой 24-часовой период) и 77 часов в неделю (любой 7-дневный период) [9]. Таким образом, корневыми узлами, характеризующими работоспособность членов задействованного персонала, являются следующие факторы:

- 1) отсутствие у одного или нескольких членов задействованного персонала надлежащей подготовки;
- 2) отсутствие у одного или нескольких членов задействованного персонала опыта работы во время швартовки к монобуксе;
- 3) один или несколько членов задействованного персонала отдыхали меньше, чем 10 часов за последние 24 часа;
- 4) один или несколько членов задействованного персонала отдыхали меньше, чем 77 часов за последние 7 дней.

Каждый из вышеперечисленных случаев следует умножить на количество людей, задействованных в швартовной операции. Они должны отображать степень подготовки, опыта и усталости каждого участника и называться следующим образом: «Отсутствие у третьего помощника надлежащей подготовки», «Отсутствие у старшего помощника опыта работы во время швартовки к монобуксе», «Капитан отдыхал меньше, чем 10 часов за последние 24 часа» и т.д. Вероятность таких событий определяется, исходя из руководства Системой Управления Безопасности (СУБ) компании. Например, в большинстве случаев вероятность того, что у одного или нескольких членов экипажа отсутствует надлежащая подготовка равна нулю, так как СУБ компании запрещает комплектацию судов моряками, у которых отсутствует хотя бы одно необходимое свидетельство об обучении. Но, следует допускать возможность отсутствия надлежащей подготовки у лоцмана и(или) ответственного лица терминала.

С целью оценки вероятности возникновения фактора отсутствия опыта предлагается ввести специальную балльную систему. В ней по десятибалльной шкале (0 – 10) оцениваются три аспекта опыта моряка (табл. 1):

- 1) стаж работы в должности;
- 2) количество участия члена задействованного персонала в швартовной операции к монобуксе;

3) продолжительность перерыва члена задействованного персонала между швартовными операциями к монобую.

Таблица 1. Оценка аспектов недостатка опыта

Стаж работы в должности, месяцы	Количество участия	Продолжительность перерыва, месяцы	Балл
> 36	> 20	< 0,5	0
32 – 36	17 – 20	0,5 – 1	1
28 – 32	15 – 17	1 – 2,5	2
24 – 28	13 – 15	2,5 – 4	3
20 – 24	11 – 13	4 – 5,5	4
16 – 20	9 – 11	5,5 – 6,5	5
12 – 16	7 – 9	6,5 – 8	6
7 – 12	5 – 7	8 – 9,5	7
3 – 7	2 – 5	9,5 – 11	8
1 – 3	1 – 2	11 – 12	9
< 1	0	> 12	10

После оценки каждого из трёх аспектов недостатка опыта необходимо суммировать полученные баллы и получить вероятность возникновения фактора «Отсутствие опыта», сверив полученное значение с соответствующим значением (табл. 2).

Таблица 2. Оценка вероятности возникновения фактора «Отсутствие опыта»

Сумма баллов	Вероятность возникновения фактора «Отсутствие опыта»	Сумма баллов	Вероятность возникновения фактора «Отсутствие опыта»
0	0,00	16	0,53
1	0,03	17	0,57
2	0,07	18	0,60
3	0,10	19	0,63
4	0,13	20	0,67
5	0,17	21	0,70
6	0,20	22	0,73
7	0,23	23	0,77
8	0,27	24	0,80
9	0,30	25	0,83
10	0,33	26	0,87
11	0,37	27	0,90
12	0,40	28	0,93
13	0,43	29	0,97
14	0,47	30	1,00
15	0,50		

Для оценки уровня усталости необходимо выполнить предварительный анализ графиков труда и отдыха каждого члена задействованного персонала, уделив особое внимание расчету продолжительности непрерывной работы непосредственно до момента начала операции. В численном виде, вероятность того, что участник швартовной операции не отдохнёт надлежащее количество часов можно представить в виде формул (1) и (2):

$$P_{уст1} = \frac{Q_{п1}}{Q_{о61}} \quad (1)$$

$$P_{уст2} = \frac{Q_{п2}}{Q_{о62}} \quad (2)$$

где $P_{уст1}$ – вероятность того, что член задействованного персонала отдохнёт меньше 10 часов за последние сутки перед началом швартовной операции;

$P_{уст2}$ – вероятность того, что член задействованного персонала отдохнёт меньше 77 часов за последнюю неделю перед началом швартовной операции;

$Q_{п1}$ – количество суток, в течении которых член задействованного персонала отдыхал меньше 10 часов;

$Q_{п2}$ – количество недель, в течении которых член задействованного персонала отдыхал меньше 77 часов;

$Q_{о61}$ – общее количество дней;

$Q_{о62}$ – общее количество недель.

Корневые узлы их вероятности, характеризующие техническую составляющую, зависят от характеристик судна и района швартовки к монобую. Их можно сформулировать следующим образом:

- 1) осадка судна меньше глубины места швартовки к монобую;
- 2) задействовано меньше буксиров, чем необходимо для судна определённой длины, ширины и (или) водоизмещения, согласно правилам порта;
- 3) используются швартовные тросы с меньшим разрывным усилием, чем необходимо, согласно правилам порта;
- 4) выход из строя одной из задействованных швартовных лебёдок;
- 5) выход из строя главного двигателя судна;
- 6) выход из строя рулевой машины судна;
- 7) выход из строя навигационного оборудования: электронная картография, радары, эхолот, гирокомпас, система спутниковой навигации, лаг;
- 8) выход из строя одного или нескольких буксиров;
- 9) не работает связь «мостик – палуба»;
- 10) не работает связь «мостик – буксир».

Вероятность данных событий определяются техническим состоянием всего оборудования судна и терминала (в частности буксиров) и степенью подготовки к предстоящей швартовной операции.

Определение дочерних узлов

Дочерними узлами являются следствия. В теории оценки рисков следствия принято делить на два типа: опасное происшествие (англ. – near-miss) и инцидент [10]. Опасными происшествиями являются следствия вышеуказанных корневых узлов. Следствием событий, связанных с гидрометеорологическими условиями, за исключением снижения видимости менее 1000 м, является потеря управляемости. Также, к потере управляемости могут привести следующие события:

- 1) задействовано меньше буксиров, чем необходимо для судна определённой длины, ширины и (или) водоизмещения, согласно правилам порта;
- 2) выход из строя главного двигателя судна;
- 3) выход из строя рулевой машины судна;
- 4) выход из строя одного или нескольких буксиров.



Ещё одним опасным происшествием является ошибка члена задействованного персонала. Такое происшествие является следствием всех событий из группы «человеческий фактор», снижения видимости менее 1000 м, выхода из строя навигационного оборудования, отсутствия связей «мостик – палуба» и «мостик – буксир».

Отдельно следует указать на такое опасное происшествие, как разрыв швартовного троса. Оно может возникнуть, как в результате четырёх происшествий: двух корневых и двух дочерних. Корневыми узлами являются использование швартовных тросов с меньшим разрывным усилием, чем необходимо согласно правилам порта и выход из строя одной из задействованных швартовных лебёдок. Дочерними узлами являются потеря управляемости и ошибка члена задействованного персонала.

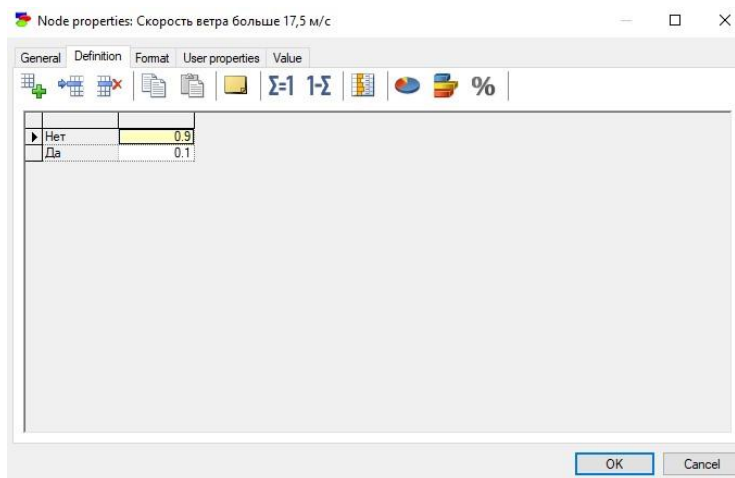
В контексте швартовной операции у монобуй возможными инцидентами могут быть следующие события:

- 1) посадка судна на мель;
- 2) травма одного или нескольких членов задействованного персонала;
- 3) смерть одного или нескольких членов задействованного персонала;
- 4) навал судна на монобуй.

Эти инциденты могут произойти как в результате одной из трёх опасных происшествий, так и корневых узлов. Посадка судна на мель возможна при условии, что фактическая глубина в районе швартовки к выносному причалу окажется меньше осадки судна, а также в результате ошибки обслуживающего персонала. Травматизм или гибель персонала возможны исключительно в случаях разрыва одного из швартовных канатов с последующим ударом им по людям, и ошибки задействованного персонала (например, одному из матросов лебёдка может «зажевать» руку с её последующим переломом). Навал судна на монобуй возможен как при потере управляемости, так и в случае ошибки члена задействованного персонала.

Составление таблиц вероятностей

Таблицы вероятности являются важнейшим элементом каждого узла Байесовской сети доверия. В ПО GeNIe такие таблицы имеют по меньшей мере один столбец и две строки. Такая простейшая формула таблиц используется в корневых узлах (рис. 1). Первая строка (строка «Нет») соответствует значению вероятности того, что событие не произойдёт. Вторая строка (строка «Да») – тому, что произойдёт. Таблицы заполняются либо на основе статистических данных, либо на основе аналитических расчётов (как например расчёт вероятности недостатка опыта у одного из членов задействованного персонала).



	Value
Нет	0.9
Да	0.1

Рисунок 1 – Таблица вероятности события «Скорость ветра больше 17,5 м/с»

Рисунок составлен по данным ПО GeNIe

Наличие множества родительских узлов у дочерних вершин приводит к чрезмерному разрастанию таблиц условных вероятностей. Из-за обилия учитываемых факторов количество ячеек в таких таблицах может исчисляться сотнями, что делает поиск показательных статистических данных для их заполнения крайне затруднительным (рис. 2). Целесообразно руководствоваться фундаментальным принципом надлежащей морской практики, предписывающим судоводителю придерживаться превентивного подхода, основанного на постоянной критической переоценке навигационных рисков и допущении максимально неблагоприятного развития ситуации. Следовательно, в ячейке, соответствующей отсутствию всех событий корневых узлов (первая ячейка строки «Нет»), следует установить вероятность 0,99. Оставшиеся 0,01 (1 %) резервируются на непредвиденные события, косвенно связанные со швартовной операцией к монобую и обусловленные неизвестными факторами. Этот 1 % должен быть обозначен в нижней ячейке (первой ячейке строки «Да»). Во всех остальных колонках, обозначающих, что одно или несколько корневых событий произошло, в строке «Нет» следует записать 0,01, а в строке «Да» 0,99, характеризующих то, что любое из корневых событий приведёт к последствиям, обозначенных в дочерних узлах.

The screenshot shows a software window titled "Node properties: Потеря управляемости судна". It contains a table with 10 columns and 10 rows. The first row is labeled "Скорость ветра" and the first column is labeled "Выход из стро.". The table contains numerical values representing probabilities, with 0.99 and 0.01 being the primary values used.

Скорость ветра	Выход из стро.	Выход из стро.	Выход из стро.	Выход из стро.	Выход из стро.	Выход из стро.	Выход из стро.	Выход из стро.	Выход из стро.
Нет	0.99	0.01	0.99	0.01	0.99	0.01	0.99	0.01	0.99
Да	0.01	0.99	0.01	0.99	0.01	0.99	0.01	0.99	0.01

Рисунок 2 – Фрагмент из таблицы вероятности события «Потеря управляемости судна»
Рисунок составлен по данным ПО GeNIe

Данный подход к составлению таблиц вероятностей обеспечивает баланс между математической строгостью и практическим удобством, минимизируя субъективность экспертных оценок при недостатке статистических данных, поскольку консервативные вероятности (0,99) отражают реальные морские практики и оставляют запас на неучтённые риски. В результате Байесовская сеть доверия становится инструментом, доступным для оперативного использования на борту без необходимости в сложных вычислительных ресурсах или глубоких статистических знаниях. Такой метод повышает надёжность оценки рисков швартовных операций у монобую, способствуя принятию обоснованных решений в условиях неопределённости.

Общий вид Байесовской сети доверия

После создания всех узлов и заполнения таблиц возникновения их вероятностей, необходимо установить между ними связи, в соответствии с описанием в разделе

The diagram illustrates a sequence of events starting from 16 initial conditions and leading through intermediate steps to final outcomes.

Initial Conditions

Condition	Нет (%)	Да (%)
Скорость ветра больше 1 м/с	61%	39%
Высота значительная	99%	1%
Максимальная вы...	99%	1%
Видимость меньше...	99%	1%
Ухудшение погодных обстановки до уровня...	99%	1%
Отсутствие у одн...	99%	1%
Отсутствие у одн...	99%	1%
Один или нескольк...	99%	1%
Один или нескольк...	99%	1%
Осадки судна меньше глубины места ...	99%	1%
Задействовано и...	99%	1%
Используется шв...	99%	1%
Выход из строя ш...	99%	1%
Выход из строя т...	99%	1%
Выход из строя ру...	99%	1%
Выход из строя н...	99%	1%
Выход из строя...	99%	1%
Выход из строя...	99%	1%
Не работает связь	99%	1%
Не работает связь	99%	1%

Intermediate Nodes

Node	Нет (%)	Да (%)
Потеря управляемости судна	56%	44%
Ошибка члена задействованного персонала	91%	9%
Разрыв швартовочного троса	50%	50%
Посадка судна на мель	80%	12%

Final Outcomes

Outcome	Нет (%)	Да (%)
Травма одного или нескольких членов задействованного персонала	50%	50%
Смерть одного или нескольких членов задействованного персонала	50%	50%
Навал судна на мойку	51%	49%

В экспериментальных целях вероятности на всех корневых узлах были выставлены как 99 % от того, что событие не возникнет (0,99 в строке «Нет»). Далее, необходимо было выбрать наименее непредсказуемое корневое событие. Согласно циркулярному письму ИМО MSC.1/Circ.1177, а также статистическими данными наблюдений с 1980 по 2023 гг., таким событием является увеличение скорости ветра [11], [12]. Выбрав событие, необходимо увеличить его вероятность до тех пор, пока вероятность одного из неблагоприятных исходов не станет больше или равно 50 %.

Заключение

Экспериментальная верификация подтвердила высокую чувствительность модели от различных факторов. Байесовская сеть доверия наглядно показала, что даже самое незначительное увеличение вероятности возникновения опасной ситуации может сильно увеличить вероятность аварийного случая. Тем самым, данное исследование лишний раз подчёркивает всю необходимость строго соблюдения мер безопасности во время выполнения таких опасных операций, как швартовка к монобугу.

Внедрение методики в практику морского судоходства повышает точность прогнозирования в условиях неопределенности и способствует принятию обоснованных решений операторами судов, снижая при этом избыточную документальную нагрузку.

Список литературы:

1. Лыхин, Г. В. Швартовка танкера к монобую в море : учебное пособие / Г. В. Лыхин. — Новороссийск : МГА им. адм. Ф. Ф. Ушакова, 2010. — 44 с.
2. MSC/Circ.1023 — MEPC/Circ.392. Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process. — London : International Maritime Organization, 2002. — 74 p. — Текст : непосредственный.
3. Шапкин, А. С. Теория риска и моделирование рискованных ситуаций : учебник для бакалавров / А. С. Шапкин, В. А. Шапкин. — 6-е изд. — Москва : Дашков и К°, 2014. — 544 с. — ISBN 978-5-394-02293-7.
4. Aven T. Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation // European Journal of Operational Research. 2016. Vol. 253, № 1. P. 1–13. DOI: 10.1016/j.ejor.2015.12.023.
5. Иваненко, В. И. Анализ риска и системный подход / В. И. Иваненко // Проблемы анализа риска. — 2018. — Т. 15, № 4. — С. 10–21. — DOI: 10.32686/1812-5220-2018-15-4-10-21.
6. Горлушкина, Н. Н. Системный анализ и моделирование информационных процессов и систем : учебное пособие / Н. Н. Горлушкина. — Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2016. — 120 с. — Текст : непосредственный.
7. Bonafede C.E., Giudici P. Bayesian networks for enterprise risk assessment // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. 2007. Vol. 382. Issue 1. PP. 22–28. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.physa.2007.02.065> (дата обращения: 19.03.2026).
8. Guidelines for Offshore Tanker Operations (GOTO). — 1st ed. — London : Oil Companies International Marine Forum (OCIMF) ; Livingston : Witherby Publishing Group, 2018. — 322 p. — ISBN 978-1-85609-724-6.
9. Конвенция 2006 года о труде в морском судоходстве (КТМС) = Maritime Labour Convention, 2006. — Женева : Международное бюро труда, 2006. — 239 с.
10. Левашов, С. П. Мониторинг и анализ профессиональных рисков : монография / С. П. Левашов ; под ред. И. И. Мазура. — Курган : Изд-во Курганского гос. ун-та, 2013. — 212 с. — ISBN 978-5-4217-0204-7.
11. General principles for ship reporting systems and ship reporting requirements, including guidelines for reporting incidents involving dangerous goods, harmful substances and/or marine pollutants : MSC.1/Circ.1177 : [adopted 23 May 2006] / International Maritime Organization. — London : IMO, 2006. — 10 p. — Текст : электронный.
12. Marine Safety Manual. Volume III: Marine Industry Personnel : COMDTINST M16000.8B / United States Coast Guard. — Washington, DC : U.S. Department of Homeland Security, 2023. — 428 p. — Текст : электронный // United States Coast Guard : [сайт]. — URL: www.dco.uscg.mil (дата обращения: 27.03.2026).

