

- 2017/10/Sobolevskaya\_4\_1\_17.pdf, svobodnyj. – (data obrashcheniya: 10.03.2019).
4. :YAnchenko A. A. Eksperimental'nye issledovaniya vliyaniya zonirovaniya kontejnernogo terminala na effektivnost' ego raboty v usloviyah svobodnogo porta Vladivostok/ A. A. YAnchenko, T. E. Malikova, D. A. Os'kin // Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S. O. Makarova. – 2019. – Т. 11. – № 1. – С. 57–67. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-1-57-67.
  5. Sobolevskaya E. YU. Opredelenie termov dlya formirovaniya bazy znaniy s uchetom ledovyh uslovij plavaniya dlya intellektual'noj transportno-logisticheskoy informacionnoj sistemy upravleniya // Materialy XVIII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Logistika: sovremennye tendencii razvitiya». - S.-Pb, 2019. - С. 110 - 115. – [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: [https://gumrf.ru/useruploads/files/konferencii/conf\\_mat2\\_4-5.04.19.pdf](https://gumrf.ru/useruploads/files/konferencii/conf_mat2_4-5.04.19.pdf), svobodnyj. – (data obrashcheniya: 19.05.2019).
  6. Leonenkov A. V. Nechetkoe modelirovanie v srede MATLAB i fuzzyTECH. — SPb.: BHV Peterburr, 2005. — 736 s.: il.
  7. SHtovba S.D. Vvedenie v teoriyu nechetkih mnozhestv i nechetkuyu logiku [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1>, svobodnyj. – (data obrashcheniya: 18.03.2019).
  8. Transportno-logisticheskaya kompaniya «Kredo Trans» [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: [http://www.credotrans.ru/ru/shipping/fraht\\_stoimost\\_morskih\\_perevozok](http://www.credotrans.ru/ru/shipping/fraht_stoimost_morskih_perevozok), svobodnyj. – (data obrashcheniya: 25.03.2019)
  9. Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe uchrezhdenie «Administraciya severnogo morskogo puti» [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: [http://www.nsr.ru/ru/ledokolnaya\\_i\\_ledovaya\\_lotsman-skaya\\_provodka/raschet\\_stoimosti\\_ledokolnoy\\_provodki\\_v\\_akvatorii\\_smp.html](http://www.nsr.ru/ru/ledokolnaya_i_ledovaya_lotsman-skaya_provodka/raschet_stoimosti_ledokolnoy_provodki_v_akvatorii_smp.html), svobodnyj. – (data obrashcheniya: 15.03.2019)
  10. Federal'noe gosudarstvennoe unitarnoe predpriyatie FGUP «Rosmorport» [Elektronnyj resurs] – Rezhim dostupa: [http://www.rosmorport.ru/filials/mgf\\_portcharges/](http://www.rosmorport.ru/filials/mgf_portcharges/), svobodnyj. – (data obrashcheniya: 25.04.2019)

УДК 656.61

DOI: 10.34046/aumsuomt91/13

## ПОИСК ДОВЕРИТЕЛЬНОГО ИНТЕРВАЛА МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СУДОВОЙ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

*В.В. Тульчинский, аспирант*

В статье рассмотрены возможности нахождения доверительных интервалов метеорологических данных с использованием судовой интегрированной системы управления. Основываясь на анализе фактических и прогнозируемых значений для «локальных районов» перевалки сжиженного природного газа, предложена методика по нахождению доверительного критерия, который может быть полезен капитану при оценке рисков проведения операций по перевалке груза. Определен выбор подхода к решению поставленной задачи, произведена проверка опытных данных.

**Ключевые слова:** доверительный интервал, критерий погоды, метеорологический прогноз, интегрированная система управления, перевалка СПГ.

The article discusses the possibility of finding the confidence intervals of meteorological data using ship's integrated automatic system. Based on the analysis of actual and predicted values for the “local areas” while ship-to-ship cargo operations with liquefied natural gas, a method to determine the confidence criterion has been proposed. Confidence criterion can be useful for the captain in the detailed risk assessment before cargo operations. The approach to the solution of the task was determined and the test of experimental data was performed.

**Keywords:** confidence interval, weather criterion, meteorological forecast, integrated automatic system, LNG transshipment.

Главными критериями обеспечения безопасности морских операций на сегодняшний день являются своевременное получение достаточного количества информации, а также ее анализ и обработка. Метеорологическая информация - один из основных критериев, который приходится учитывать при оценке рисков и возможности проведения любого вида транспортных операций. На сегодняшний день современные средства связи способны обеспечивать своевременное

получение, а средства анализа - вычисление метеорологических данных. Однако, существуют некоторые особенности, которые можно учитывать дополнительно для повышения безопасности определенного транспортного процесса.

Во время грузовых операций крупнотоннажных судов погодные условия - один из важнейших лимитирующих факторов. Капитан судна обычно получает метеорологические сводки, охватывающие обширный район, а портовые

службы имеют более точные данные, например, по ожидаемой скорости ветра у причальной группы. Таким образом обеспечивается высокий уровень контроля метеорологических данных. На судне - постоянное наблюдение, с берега – высокоточный предрасчёт погодных факторов.

Тем не менее, существуют некоторые операции перевалки груза крупнотоннажными судами, при которых портовые службы не имеют возможности передачи высокоточной метеорологической информации для определённого "локального" района.

Примером является процесс перевалки судно - судно (STS) Сжиженного Природного Газа газовозами типа Arc7 на конвенционные газовозы LNG/C в бухтах Honningsvåg, Norway. Процесс перевалки происходит на 3-ех основных позициях, каждая из которых имеет определённые метеорологические особенности, обусловленные расположением фьордов вокруг. Учет их крайне необходим, так как процесс перевалки СПГ относится к числу уникальных операций с высокой степенью опасности. Существуют четкие ограничения по скорости ветра и волнению.

Целью работы был поиск зависимости между получаемым прогнозом на обширный район и фактическими данными в «локальном» районе. Возможность автоматического анализа, учета

и оценки точности метеорологических данных для выработки наглядного доверительного критерия определённого прогноза применительно к «локальному месту». В статье изложены основные детали и результаты проведенного исследования.

Идея заключается в выработке определённого критерия или доверительного интервала, который будет применим для определённого «локального места» и определённого источника метеорологической информации. Сам интервал необходимо вычислить математически путем анализа пакета накопленных данных. Интервальный критерий будет характеризовать «степень доверия» источника метеорологической информации и позволит более четко устанавливать границы безопасности и прекращения грузовых операций.

Вычисления фактических метеорологических данных происходило на судне - газовозе типа Arc7, дедвейтом 96779 тон судовым ареометром. Данные за 4 судозахода на одну и ту же «локальную» позицию перевалки СПГ (STSNº3) автоматически записывались в судовую Интегрированную систему управления (далее IAS). На выбранные даты сохранены масштабированные графики скорости и направления ветра (пример на дату 06.04.2019 - Рисунок 1).

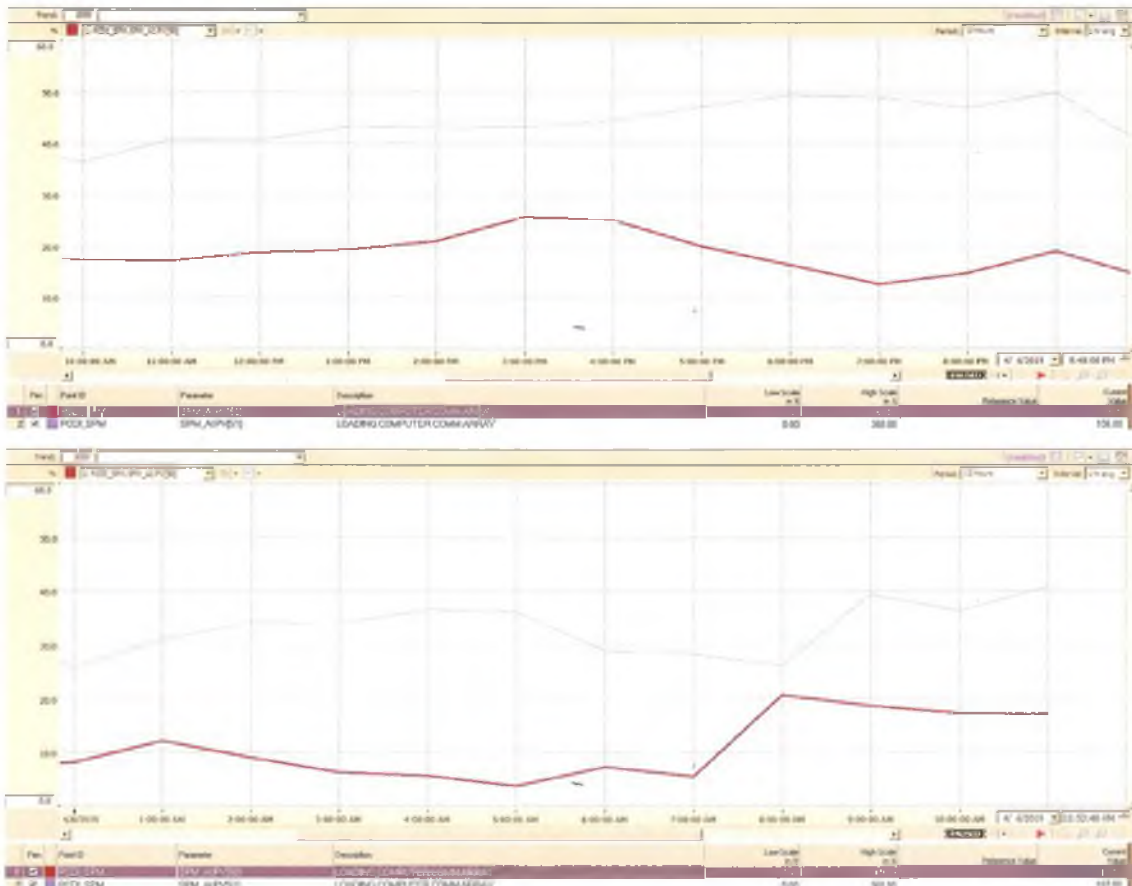


Рисунок 1 – Данные с IAS на 06.04.2019

Для этих же временных промежутков сохранена метеорологическая выборка на район Sarnesfjorden. Этот прогноз был основным и наиболее точным источником метеорологической информации, получаемой на судне посредством спутниковой сети интернет и системы V-Sat (пример на дату 06.04.2019 - Рисунок 2).

Изображения соответствующих графиков обрабатывались в программной среде обработки

растровых изображений «Illustrator.CC» для снятия точных значений данных. Графики значений силы ветра и его направления переведены в цифровой масштаб и ранжированы по нему. В программной среде Excel, основываясь на математическом аппарате вложенных функций, была произведена оценка различных способов вычисления доверительного критерия или интервала и выяснено следующее.

### Wind charts

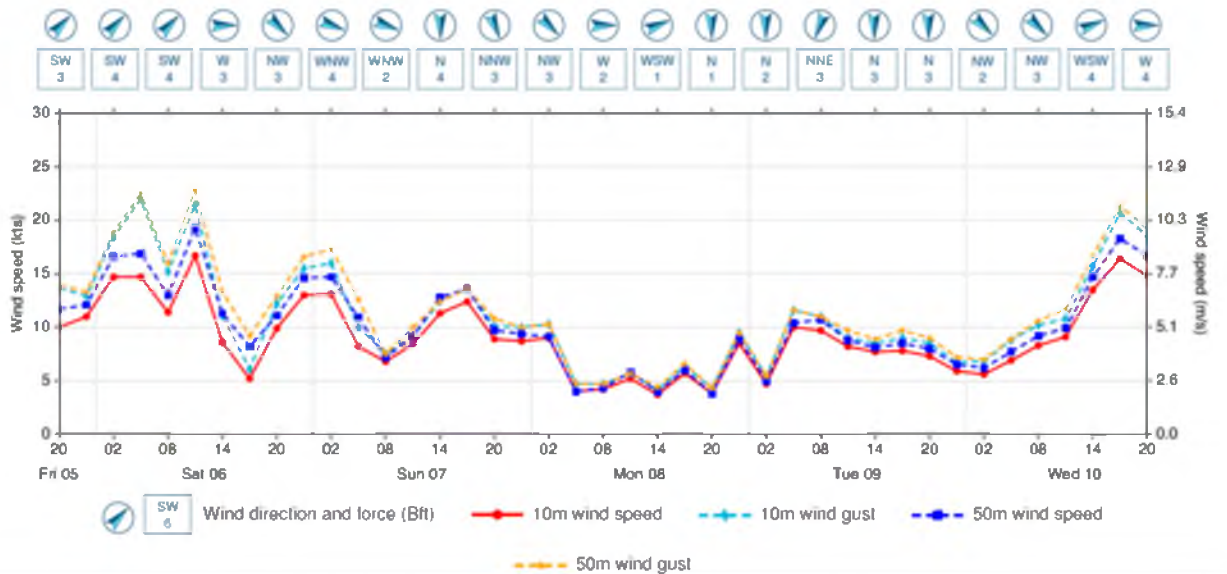


Рисунок 2 – Данные с метеорологического прогноза на 06.04.2019

График фактических метеоданных с IAS судна следует рассматривать как процесс случайного шума. Он будет состоять из случайной выборки как следствие случайных наблюдений.

Автор предполагает, что выборка происходит из нормального распределения с постоянным средним и стандартными отклонениями. Вычисление каких-либо трендов или тенденций к такому процессу не приводит к положительному результату из-за независимости наблюдений (отсутствие памяти о прошлом поведении рядов данных). Таким образом применить корреляционно-регрессивный анализ не представляется возможным. Проблема также состоит в смещении шкал прогнозируемых и фактических метеоданных по времени, которая также имеет место. Коэффициент корреляции, рассчитанный по формуле (1) для 2-ух указанных процессов на этапе оценки данных (оценка вида регрессионного анализа) показал, что в 75% измерений значение коэффициента парной корреляции  $r$  выше 0,6.

$$r = \frac{\sum(F_i - F_{\text{сред}})(R_i - R_{\text{сред}})}{\sqrt{\sum(F_i - F_{\text{сред}})^2 \sum(R_i - R_{\text{сред}})^2}} \quad (1)$$

Однако данный коэффициент не имеет фактического смысла, так как значения фактических метеорологических данных напрямую связаны с природными процессами и только косвенно зависят от прогнозных значений. Имеет место тенденция к так называемой ложной корреляции. К тому же, как уже было упомянуто, трудно привести графики указанных процессов к одной точной временной шкале.

Поэтому предлагается в соответствии с моделью случайного шума измеренные метеоданные выразить через среднюю величину и факторный член:

$$F_i(t) = \mu_{\text{cp}} + \xi_i \quad (2)$$

где  $\mu_{\text{cp}}$  - долгосрочное среднее значение процесса,  $\xi_i$  - факторный член или «шум» текущего замера метеорологического фактора.

Процесс случайного шума в целом носит «плоский» характер – без наклона вверх или вниз. Кроме того, он имеет ярко выраженную тенденцию к нерегулярности и постоянной величине изменчивости. Тем не менее, для расчета вычисляемой величины  $F_i'(t)$  попытки подобрать универсальную  $\mu_{\text{cp}}$  с помощью статистических методов оценки имеющихся прогнозных данных

величин  $\xi_i$  для каждой временной итерации не дали достоверных положительных результатов. На *Рисунке 3* представлен результат подобных вычислений. Как видно из данной гистограммы на 06.04.2019, в 70.5% случаев удается достичь более точных значений данных (сопоставление

синего и красного уровней). Однако тонность небольшая, так как разброс крайних величин не покрывается расчетами. Также нельзя гарантировать уверенность в аналогичной точности для других дат.

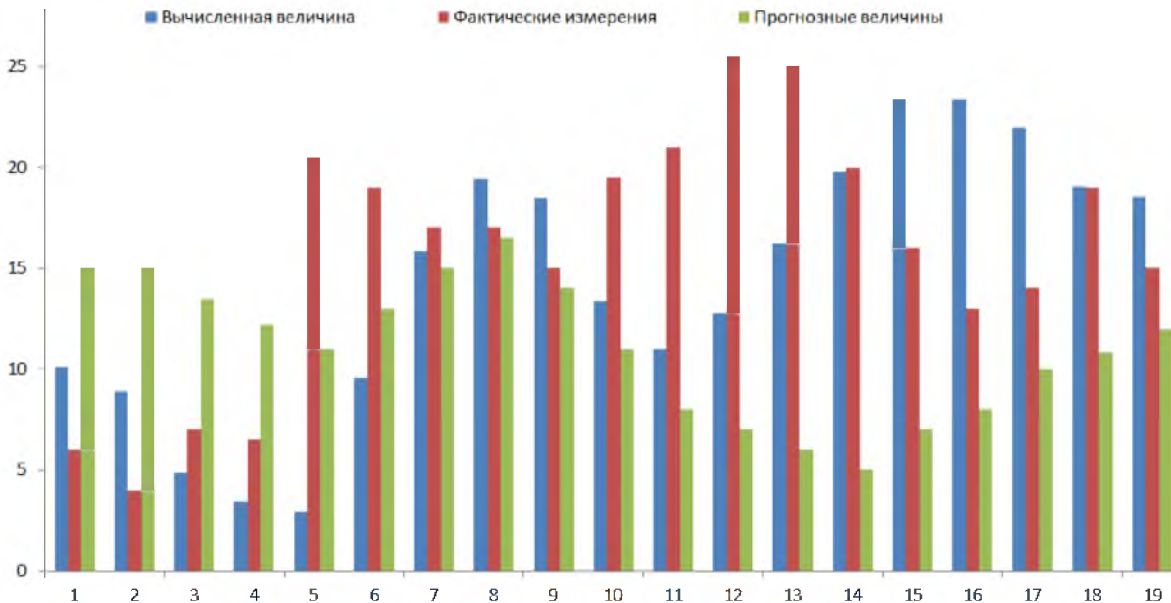


Рисунок 3 – Результаты вычисления критерия с помощью модели случайного шума на каждый час 06.04.2019

Таким образом, автор пришел к выводу о необходимости применения вероятностного подхода для адекватной оценки погодного критерия. Идея состоит в установке так называемого доверительного интервала для следующего периода по оценке имеющихся накопленных данных предыдущего периода.

Именно такой подход может иметь практическую значимость, так как операции по перевалке сжиженных углеводородов всегда непрерывно связаны с оценкой возможных рисков.

Итак, допустим, что имеет место нормальное распределение случайного фактора между фактической и прогнозируемой величиной метеорологических данных. Тогда примем за величину  $F_i$  фактическое ежечасное значение метеорологического фактора (в первом случае скорости ветра в узлах), полученное с графика IAS при часовом усреднении.  $R_i$  это часовое прогнозируемое значение, снятое с графика выбранного метеорологического прогноза. Пусть первые 10 часов измерения (выделено на *Рисунке 4* красным) система накапливает данные по фактическим значениям и производит вычисления ошибки  $k$  как разность фактического и прогнозируемого значения по формуле:

$$k_i = F_i - R_i \quad (3)$$

где  $i$  означает каждый следующий час. Тогда можно рассчитать среднее отклонение  $k_{cp}$  по формуле:

$$k_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} (F_i - R_i)}{n} \quad (4)$$

Далее следует рассчитать Среднее Квадратическое Отклонение (СКО) выбранных к анализу накопленных значений данных по формуле:

$$СКО = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{i=n} (F_i - R_i)^2}{n}} \quad (5)$$

Вычисленное значение СКО позволит установить определенный доверительные интервал к прогнозируемым данным, поэтому выдвинем предположение, что остальные данные на следующий 13 часовой период (на *Рисунке 4* выделены черным) подвержены такой же ошибке. Значит, к прогнозируемым значениям можно применить такое же СКО. Проверим предположение, рассчитав доверительные интервалы для вероятностей  $P = 68\%, 95.4\%, 99.7\%$  по соотношениям:  $68\% > 3 * СКО, 95.4\% > 2 * СКО, 99.7\% > 1 * СКО;$  (6)

При анализе скорости ветра, для практического применения имеет смысл только верхний предел вероятного распределения значений, так как именно ограничения по максимальной скорости ветра являются решающим фактором по приостановке или прекращению грузовых операций. Расчёты для скорости ветра (в узлах) на 06.04.2019 приведены на *Рисунке 4*.

Итак, после соответствующего расчета верхних вероятностных пределов сравним полученные доверительные интервалы с фактически снятыми значениями с IAS. Получим, что верхний предел 99%вероятности в 100% случаев обеспечивает точность значений. 95% предел

имеет 85%точность, а 68% предел 54%точность. Это следствие возможной неточности нашего предположения, а также того, что величина может иметь некоторые отклонения от нормального распределения.

F Фактическое	R Прогнозное	Ошибка k	Средняя k	(Fi - Ri)^2	СКО	Верхний 99%	Верхний 95%	Верхний 68%
8	12	-4	-3.62	16	7.3	33.8	26.2	19.3
12	13	-1		1		34.8	27.2	20.3
9	15	-6		36		36.8	29.2	22.3
6.5	15	-8.5		72.25		36.8	29.2	22.3
6	15	-9		81		36.8	29.2	22.3
4	15	-11		121		36.8	29.2	22.3
7	13.5	-6.5		42.25		35.3	27.7	20.8
6.5	12.2	-5.7		32.49		34.0	26.4	19.5
20.5	11	9.5		90.25		32.8	25.2	18.3
19	13	6		36		34.8	27.2	20.3
17	15	2				36.8	29.2	22.3
17	16.5	0.5				38.3	30.7	23.8
15	14	1				35.8	28.2	21.3
19.5	11	8.5				32.8	25.2	18.3
21	8	13				29.8	22.2	15.3
25.5	7	18.5				28.8	21.2	14.3
25	6	19				27.8	20.2	13.3
19	5	14				26.8	19.2	12.3
16	7	9				28.8	21.2	14.3
13	8	5				29.8	22.2	15.3
14	10	4				31.8	24.2	17.3
18	10.8	7.2				32.6	25.0	18.1
15	12	3				33.8	26.2	19.3

Рисунок 4. Вычисление доверительных интервалов на 06.04.2019

Однако произведя соответствующие вычисления для всех 4 дат (06.04.2019, 19.04.2019, 07.02.2019 и 23.04.2019) получили следующие результаты, сведенные в таблицу на Рисушке 5. Из этой таблицы можно сделать вывод, что предложенная методика может позволить капитану производить расчет доверительного интервала для конкретного метеорологического прогноза в «локальном» районе с абсолютной точностью, используя 99%предел вероятности и с достаточно высокой точностью для 95% предела вероятности.

Дата	Верхний 99%	Верхний 95%	Верхний 68%
06.04.2019	100%	85%	54%
19.04.2019	100%	93%	64%
07.02.2019	100%	93%	64%
23.02.2019	100%	86%	57%

Рисунок 5 – Результаты расчетов по 4 датам

В рамках перспектив развития мало экипажного судовождения и вектора на внедрение безэкипажного судовождения, а также исходя из современных возможностей интегрированного и даже интегрального ходового мостика, уже сейчас существует реальная возможность выполнения аналогичных предложенным расчетом в ав-

томатическом режиме. Система таким образом сможет сама оценивать риски и точности метеорологических данных, то есть оценивать доверительные интервалы к полученным прогнозам. Если на судах газовозах типа Arc7 или LNG/C добавить в IAS блок анализа данных с предложенным или аналогичным по смыслу алгоритмом, то возможно получение наглядных данных, которые будут полезны капитану при оценке ситуации и позволят повысить уровень безопасности перевалочных операций в так называемых «локальных местах» перевалки груза.

#### Литература

1. Крицкий О.Л. Теория вероятностей и математическая статистика для технических университетов. I. Теория вероятностей: учебное пособие / О.Л. Крицкий, А.А. Михальчук, А.Ю. Трифонов, М.Л. Шинкеев. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 212 с.
2. Шашков В.Б. Прикладной регрессионный анализ. Многофакторная регрессия: учебное пособие. – Оренбург: ГОУ ВПО ОГУ, 2003. – 363 с.
3. Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика. – 3-е изд., перераб. и доп. – М., 2010. – 551с.
4. Шорохов В.Н. Организация сбора и распространения гидрометеорологической информации:

учебное пособие для обучения курсантов (студентов) на факультетах военного обучения (военно-морских кафедрах) гражданских вузов / В.Н. Шорохов, М.Ю. Осокин, Е.В. Хекерт; Федеральное гос. образовательное учреждение высш. проф. образования "Морская гос. акад. им. Ф. Ф. Ушакова". – Новороссийск, 2010.

5. Кондратьев С.И., Печников А.Н., Хекерт Е.В. Эргономический подход к оцениванию деятельности судовых специалистов: суть проблемы и подход к ее решению // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – № 4-4 (42). – С. 166-174.
6. Петросьян А.В., Хекерт Е.В. Улучшение безопасности мореплавания в районах действия систем управления движением судов. Вестник государственного морского университета им. адмирала Ф.Ф. Ушакова. – 2016. – № 2 (15). – С. 22-24.
7. Астреин В.В., Кондратьев С.И., Боран-Кешишьян А.Л. Задача самоорганизации групп судов для предупреждения столкновений // Эксплуатация морского транспорта. – 2016. – № 1 (78). – С. 32-38.

#### References

1. Krickij O.L. Teorijaverojatnostejimatematicheskajastatistikadljatehnikeskikhuniversitetov. I. Teorijaverojatnostej: uchebnoeposobie / O.L. Krickij, A.A. Mihaľchuk, A.Ju. Trifonov, M.L. Shinkeev; Tomskijpolitehnikeskijuniversitet. – Tomsk: Izd-

voTomskogopolitehnikeskogouniversiteta, 2010. – 212 s.

2. Shashkov V.B. Prikladnoj regressionnyj analiz. Mnogofaktornaja regressija: Uchebnoeposobie. – Orenburg: GOU VPO OGU, 2003. – 363 s.
3. Kremer N.Sh. Teorija verojatnostej i matematicheskaja statistika. 3-e izd., pererab. i dop. – M.: 2010 – 551s.
4. Shorohov V.N., Osokin M.YU., Hekert E.V. Organizaciya sbora i rasprostraneniya gidrometeorologicheskoy informacii. Uchebnoeposobie dlya obucheniya kursantov (studentov) na fakul'tetah voennogo obucheniya (voenno-morskih kafedrah) grazhdanskih vuzov / V.N. Shorohov, M.YU. Osokin, E.V.Hekert; Federal'noe gos. obrazovatel'noe uchrezhdenie vyssh. prof. obrazovaniya "Morskaya gos. akad. im. F. F. Ushakova". Novorossijsk, 2010.
5. Kondrat'ev S.I., Pechnikov A.N., Hekert E.V. Ergonomicheskij podhod k ocenivaniyu deya-tel'nosti sudovyh specialistov: sut' proble-my i podhod k ee resheniyu/Morskie intellek-tual'nye tekhnologii. 2018. № 4-4 (42). S. 166-174.
6. Petros'yan A.V., Hekert E.V. Uluchshenie bezopasnosti moreplavaniya v rajonah dejstviya sistem upravleniya dvizheniem sudov.Vestnik gosudarstvennogo morskogo universiteta im. admirala F.F. Ushakova. 2016. № 2 (15). S. 22-24.
7. Astrein V.V., Kondrat'ev S.I., Boran-Keshish'yan A.L. Zadacha samoorganizacii grupp sudov dlya preduprezhdeniya stolknove-nij/Ekspluataciya morskogo transporta. 2016. № 1 (78). S. 32-38.

УДК 656.61

DOI: 10.34046/aumsuomt91/14

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ОПТИЧЕСКОГО ПОТОКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СМЕЩЕНИЯ КОРПУСА СУДНА У ПРИЧАЛЬНОГО СООРУЖЕНИЯ

*В.В. Тульчинский, аспирант*

В статье рассмотрены математические основы корреляционных методов анализа оптического потока для определения параметров смещения и положения корпуса судна в текущий момент времени при стоянке у причального сооружения. Проанализирована возможность применения элементов машинного или компьютерного зрения в целях решения задачи обеспечения безопасности транспортных процессов на морском транспорте. Определен выбор фазовой корреляции цифровых изображений как основы для точных измерений автоматическим оптическим измерителем параметров смещения корпуса судна.

**Ключевые слова:** машинное зрение, причальное сооружение, положение корпуса судна, автоматический оптический измеритель, корреляция цифровых изображений, фазовая корреляция.

The article describes the mathematical basis of correlation methods of analysis of optical flow to determine the parameters of hull's shifts and its position at the current moment while moored at the berth. The possibility to use elements of machine or computer vision in order to increase the safety of maritime transport processes was analyzed. The choice of phase correlation for digital images analysis acts as a basis for accurate measurements by an automatic optical measurement system.

**Keywords:** machine vision, berth structure, vessel's hull position, automatic optical measurement system, correlation of digital images, phase correlation.

Задача автоматического определения параметров смещения корпуса судна относительно причального сооружения может быть решена с

помощью машинного зрения и, в частности, автоматического оптического измерителя, то есть цифровой камеры. В настоящее время можно