

9. Burmaka, I. A., and A. Y. Bulgakov. "Vibor optimalnogo vektora upravleniya sudami izmeneniem kursov dlya bezopasnogo rasrzhzhdeniya." *Avtomatizatsiya sudovykh tekhnicheskikh sredstv* 21 (2015): 29–33.
10. Burmaka, A. I. "The strategy of maneuvering of ships in a situation of excessive proximity." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 1(23) (2014): 20–22.
11. Burmaka, A. I. "Vessel's collision avoidance strategy in case of close-quarters situation when moving in the same direction." *Vestnik Gosudarstvennogo morskogo universiteta im. admirala F.F. Ushakova* 2(7) (2014): 14–17.
12. Vagushchenko, L. L. *Raskhozhdenie s sudami smeshcheniem na parallelnuyu liniyu puti*. Odessa: Feniks, 2013.
13. Pyatakov, E. N. "Neopredelennosti v traktovke MPPSS-72 pri opasnom sblizhenii sudov i vybore manevra raskhozhdeniya." *Sudovozhdenie* 23 (2013): 122–129.
14. Eshbi, U. Ross. *Vvedenie v kibernetiku*. M: Mir, 1959.
15. Burmaka, I. A., A. I. Burmaka, and R. Y. Buzhbeckij. *Ekstrennaya strategiya rasrzhzhdeniya pri chrezmernom sblizhenii sudov*. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Пятаков Эдуард Николаевич —
кандидат технических наук, доцент.
Национальный университет
«Одесская морская академия»
eryatakov@ukr.net
Копанский Станислав Валентинович — аспирант.
Научный руководитель:
Пятаков Эдуард Николаевич.
Национальный университет
«Одесская морская академия»
kopanskystas@mail.ru
Волков Евгений Леонидович — аспирант.
Научный руководитель:
Пятаков Эдуард Николаевич.
Национальный университет
«Одесская морская академия»
yev-volkov@yandex.ua

Pyatakov Eduard Nikolaevich —
PhD, associate professor.
National university "Odessa maritime academy"
eryatakov@ukr.net
Kopanskiy Stanislav Valentinovich — postgraduate.
Supervisor:
Pyatakov Eduard Nikolaevich.
National university "Odessa maritime academy"
kopanskystas@mail.ru
Volkov Evgeniy Leonidovich — postgraduate.
Supervisor:
Pyatakov Eduard Nikolaevich.
National university "Odessa maritime academy"
yev-volkov@yandex.ua

Статья поступила в редакцию 29 апреля 2016 г.

DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-4-29-43
УДК 656.61.052

Р. С. Царик,
Д. А. Акмайкин

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ФОРМИРОВАНИЯ
КОНТЕЙНЕРНОГО ШТАБЕЛЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ТРЕБУЕМОЙ ВИДИМОСТИ С ХОДОВОГО МОСТИКА КОНТЕЙНЕРОВОЗА**

В статье рассмотрен вопрос разработки алгоритма формирования контейнерного штабеля для обеспечения требуемой видимости с ходового мостика контейнеровоза. Используются математические методы с геометрическими построениями и практический опыт обеспечения безопасной эксплуатации контейнеровозов. Предложен новый метод ступеней в обеспечении требуемой видимости с ходового мостика и основанный на нем алгоритм формирования контейнерного штабеля на стадии составления грузового плана в соответствии с установленными ограничениями. Отмечается универсальность предложенного метода для использования на контейнеровозах различных архитектурно-конструктивных типов

с любым состоянием загрузки. Рассмотрены примеры расчетов в соответствии с предложенным алгоритмом с использованием реальных параметров крупнотоннажного контейнеровоза, подтверждающие работоспособность и эффективность методики. Обоснована практическая целесообразность включения предложенного алгоритма в качестве расчетного модуля грузовых программ контейнеровозов для обеспечения их безопасной эксплуатации.

Ключевые слова: суда-контейнеровозы, видимость с ходового мостика, мертвая зона видимости, контейнерный штабель, контейнерный грузовой план, безопасность судоходства.

Введение

Видимость с ходового мостика судна, наряду с обеспечением устойчивости и прочности судна, является одним из важнейших факторов обеспечения безопасности судоходства, поскольку возможность обозревать окружающую обстановку лежит в основе принятия решений по безопасному управлению судном. Видимость с ходового мостика регламентирована Международной конвенцией по охране человеческой жизни на море 1974 года (СОЛАС-74) [1, Ч. V, Правило 22]. Актуальность данного требования обусловлена тем, что недостаточная видимость нередко является одной из причин столкновений судов, особенно больших судов-контейнеровозов с небольшими рыболовными судами [2]. Несоблюдение требований, предъявляемых к видимости, приводит к наложению штрафов на судовладельца и задержке судов при проходе через регулируемые акватории, такие, например, как Панамский канал. Недостаточная видимость также может привести к посадке на мель ввиду недостаточной видимости с судна средств навигационного ограждения опасностей [3]. Обеспечение требуемой видимости с ходового мостика должно находиться в числе факторов, которые необходимо учитывать при оценке рисков, анализе и математическом моделировании аварий в судоходстве [4], [5].

Особенность судов-контейнеровозов заключается в том, что они перевозят на палубе большую часть груза, который является препятствием в обеспечении достаточной видимости. Следует отметить, что на крупнейших современных контейнеровозах на палубе устанавливают контейнерные штабеля высотой до 30 м [6]. Архитектурно-конструктивный тип судна должен быть таким, чтобы обеспечить надлежащую видимость при планируемой контейнеровместимости [6]. В течение последних нескольких лет стандартным для крупнейших контейнеровозов стал двухнастроечный архитектурно-конструктивный тип, при котором надстройка с ходовым мостиком смещена в нос судна. Это позволяет увеличить контейнеровместимость и обеспечить надлежащую видимость. При составлении грузового плана контейнеровоза обеспечение видимости является одной из задач, которая должна быть решена [7]. Грузовой помощник капитана должен тщательно контролировать, чтобы запланированная погрузка не привела к нарушению требований в отношении видимости с ходового мостика. Все грузовые программы включают в себя функцию расчета видимости при конкретной загрузке судна, что, однако, представляет собой лишь констатацию состояния видимости, но не помогает экипажу решать вопрос о приведении ее к требуемому значению [8], [9].

В статье предложен алгоритм формирования контейнерного штабеля методом ступеней для обеспечения требуемой видимости, который позволит значительно расширить функционал грузовой программы. Причем рассматривается недеформированный корпус контейнеровоза, т. е. при посадке судна на ровный киль все осадки равны, а при наличии дифферента изменение осадок линейно. Рассматривается только дифферент на корму как наиболее используемый на практике, так и оказывающий негативное влияние на протяженность «мертвой зоны» видимости с ходового мостика. Крен судна не рассматривается, поскольку он обычно легко устраним и не оказывает влияния на видимость с ходового мостика. Обеспечение надлежащей видимости рассматривается с учетом того, что загрузка судна и последующие перестановки контейнеров обеспечивают необходимую устойчивость и прочность корпуса. Такое допущение считается уместным, поскольку использование современных программных средств контроля устойчиво-

сти и прочности позволяет оперативно отслеживать соответствующие изменения при любом изменении загрузки, в том числе обусловленном необходимостью обеспечения видимости с ходового мостика. Кроме того, нарушения видимости обычно вызваны относительно небольшим количеством контейнеров в верхних ярусах контейнерных штабелей, перестановка которых не оказывает значительного влияния на остойчивость и прочность. В том числе это обусловлено тем фактом, что в верхних ярусах обычно размещаются легкие или порожние контейнеры. Также принимается во внимание, что программные средства планирования загрузки судна позволяют определять наиболее эффективное размещение контейнеров не только с учетом требований безопасности, но и коммерческой целесообразности. При этом следует отметить, что обеспечение безопасности превалирует над вопросами коммерческой целесообразности. Так, необходимость размещения контейнеров с учетом ротации портов, безусловно, учитывается, но не должна приводить к игнорированию требований безопасности, в частности, обеспечения видимости с ходового мостика.

В конечном итоге, предполагается встраивание предлагаемого в статье алгоритма формирования контейнерного штабеля методом ступеней в грузовые программные комплексы контейнеровозов с тем, чтобы способствовать наиболее эффективному грузовому планированию с учетом требований безопасности (стойчивость, прочность, видимость, размещение режимных контейнеров) и коммерческой целесообразности (ротация портов, неэффективные штивки, ограничения перегрузочного оборудования и др.). Для постановки и решения задачи в работе используются обозначения, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Обозначения, принятые в работе

Обозначение	Наименование
ijk	Контейнерная ячейка: бэй — i , ряд — j , ярус — k
t_{minij}	Минимальное число ярусов в бэе i и ряде j на палубе
h_{ijk}	Высота контейнера в ячейке ijk
h_c	Высота стандартного контейнера 2,6 м
h_{HC}	Высота контейнера повышенной вместимости (high cube — 2,9 м)
m	Количество стандартных контейнеров h_c в штабеле
n	Количество контейнеров повышенной вместимости h_{HC} в штабеле
$i (II')$	Шпангоут расчетного бэя i
$nav (EE')$	Шпангоут ходового мостика («глаза штурмана»)
L_{oa}	Длина судна (максимальная)
L_{bp}	Длина судна между перпендикулярами
L_a	Расстояние от кормового перпендикуляра до «глаза штурмана» $L_a = L_{oa} - L_f - L_b - 0,75$ (0,75 м — значение, установленное Конвенцией СОЛАС-74 [1, Ч. V, Правило 22] горизонтальное расстояние от иллюминатора ходового мостика до «глаза штурмана»
L_{em}	Расстояние от шпангоута ходового мостика до мидель-шпангоута $L_{em} = \frac{L_{bp}}{2} - L_a$. Знаки: «+» — если мидель-шпангоут находится в нос от шпангоута ходового мостика, «-» — если мидель-шпангоут находится в корму от шпангоута ходового мостика. Также определяются арифметически

Таблица 1
(Продолжение)

L_{mi}	Расстояние от мидель-шпангоута до шпангоута бэя i $L_{mi} = ML_i - L_{em}$. Знаки: «+», если мидель-шпангоут находится в корму от шпангоута ходового мостика, «-», если мидель-шпангоут находится в нос от шпангоута ходового мостика (также определяются арифметически)
L_b	Расстояние от кормового перпендикуляра до кормового среза судна
L_c	Расстояние от носового перпендикуляра до среза носовой оконечности судна: $L_c = L_{oa} - L_{bp} - L_b$
L_f	Расстояние от носовой переборки ходового мостика до среза носовой оконечности судна
L_{Vmax}	Максимально допустимая протяженность «мертвой зоны» видимости, когда судно на ровном киле
L'_{Vmax}	Максимально допустимая протяженность «мертвой зоны» видимости, когда судно с дифферентом на корму
L_V	Фактическая протяженность «мертвой зоны» видимости, когда судно на ровном киле
L'_V	Фактическая протяженность «мертвой зоны» видимости, когда судно с дифферентом на корму
D	Высота борта судна
d_f	Осадка носом
d_a	Осадка кормой
d_m	Осадка на миделе
	Осадка средняя расчетная: $d'_m = \frac{d_f + d_a}{2}$
d_{nav}	Осадка на шпангоуте ходового мостика nav (ЕЕ')
d_i	Осадка на шпангоуте расчетного бэя i (II')
Δd_{af} ψ	Дифферент: $\Delta d_{af} = d_a - d_f$ — в линейном выражении, в градусной мере
	Изменение осадки из-за дифферента, соответственно, на носовом перпендикуляре, кормовом перпендикуляре, шпангоуте nav или i . Знак: «+» — приращение осадки, «-» — уменьшение осадки. $\Delta d_m = 0$ (принято)
D_b	Возвышение ходового мостика над плоскостью киля
AH_i	Фактическая высота штабеля контейнеров в бэе i над главной палубой, включая высоту комингса трюма
AH_{ic}	Фактическая высота штабеля контейнеров в бэе i над крышкой трюма: $AH_{ic} = AH_i - CH$
MH_i	Максимально допустимая высота штабеля контейнеров в бэе i над главной палубой, включая высоту комингса трюма
MH_{ic}	Максимально допустимая высота штабеля контейнеров в бэе i над крышкой трюма: $MH_{ic} = MH_i - CH$
CH	Высота комингса трюма, включая крышку трюма от главной палубы — уровень, на котором начинает формироваться контейнерный штабель

Таблица 1
(Окончание)

ML_i	Расстояние от носовой переборки ходового мостика до передней грани штабеля контейнеров в бэе i
D_{h1}	Возвышение «глаза штурмана» над плоскостью киля: $D_{h1} = D_b + 1,8$ (1,8 м — значение, установленное Конвенцией СОЛАС-74 [1, Ч. V, Правило 22])
D_{h2}	Возвышение верхней точки носовой оконечности судна над плоскостью киля
D_{h3}	Возвышение точки пересечения линии видимости с перпендикуляром, возведенным в носовой оконечности судна, над плоскостью киля: $D_{h3} = D_{h1} - Y$
D_h	Наибольшее из значений D_{h2} и D_{h3} . Для контейнеровоза с контейнерами на палубе $D_{h3} \geq D_{h2}$
Y	Расстояния по вертикали между «глазом штурмана» и точкой пересечения линии видимости с перпендикуляром, возведенным в носовой оконечности судна: $Y = (D_{h1} - (D + AH_i)) (L_f + 0,75) / (ML_i + 0,75)$
Обозначения точек, используемых на рисунках	
M	Абсцисса мидель-шпангоута (абсцисса)
X	Абсцисса точки пересечения проекций ватерлиний на боковую проекцию судна, при дифференте и на ровном киле. В этой точке изменение осадки при дифференте равно нулю.
E	Точка «глаза штурмана» (точка выхода)
E'	Точка пересечения перпендикуляра, опущенного из «глаза штурмана» на плоскость поверхности воды
E''	Проекция точки I на перпендикуляр «глаза штурмана»
I	Верхняя точка передней грани штабеля контейнеров в расчетном бэе i . Точка касания или точка прерывания. Находится в месте пересечения линий, соответствующих значениям AH_i и ML_i
I'	Точка пересечения перпендикуляра, опущенного из точки I на плоскость поверхности воды
V'_1	Точка касания фактической линии видимости с ватерлинией при посадке на ровный киль (точка входа)
V_1	Точка касания фактической линии видимости с ватерлинией при дифференте на корму (точка входа)
V'_2	Точка касания максимально допустимой линии видимости с ватерлинией при посадке на ровный киль (точка входа)
V_2	Точка касания максимально допустимой линии видимости с ватерлинией при дифференте на корму (точка входа)

Основная часть

Система выражений (1) описывает условия, при которых «мертвая зона» видимости не должна превышать допустимой в соответствии с требованиями Конвенции СОЛАС-74 [1, Ч. V, Правило 22, п. 1]:

$$\left. \begin{aligned} L'_V &\leq L'_{V_{\max}}; \\ L'_{V_{\max}} &\leq 2L_{oa}, \text{ при } L_{oa} < 250 \text{ м} \\ L'_{V_{\max}} &\leq 500 \text{ м, при } L_{oa} \geq 250 \text{ м} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

На рис. 1 приведена номенклатура конструктивных элементов и обозначений.

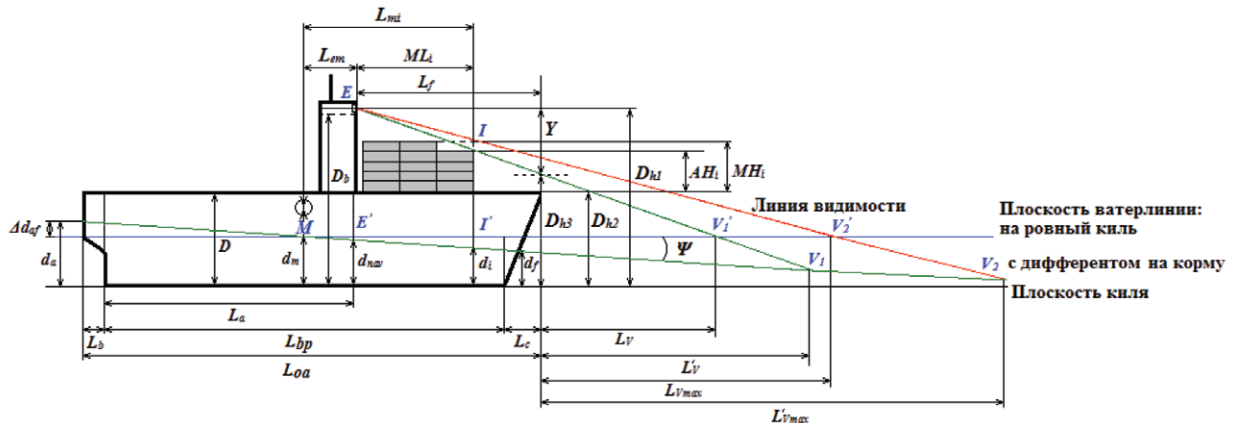


Рис. 1. Номенклатура обозначений конструктивных элементов и параметров

«Мертвую зону» видимости контейнеровоза можно определить по формуле [10]:

$$L'_V = \left(\frac{D_{h3} + L_c \left(\frac{Y}{L_f} \right) - d'_m - \frac{\Delta d_{af}}{2}}{\left(\frac{\Delta d_{af}}{L_{bp}} \right) + \left(\frac{Y}{L_f} \right)} \right) - L_c. \quad (2)$$

В формуле (2) дифферент на корму считается отрицательным. Ее недостатком является то, что некоторые из входящих в нее компонентов требуют дополнительных расчетов, которые могут снизить итоговую точность вычислений.

Следует отметить, что в данной работе предлагается методика расчета дальности видимости с мостика через тангенс угла линии видимости к поверхности моря γ . Для того чтобы не усложнять расчеты, судно принимается на ровный киль. Наличие дифферента учитывается в последующих расчетах через осадки, имея в виду тот факт, что дифферент контейнеровоза определяется не только размещением груза на судне, но и балластировкой. Можно принять, что формирование контейнерного штабеля в контексте обеспечения видимости с ходового мостика будет выполняться в условиях, когда дифферент судна уже определен. Такая особенность свойственна контейнеровозам, в частности, ввиду разного веса контейнеров при их стандартных размерах. Это может привести к тому, что при одном и том же дифференте судна конфигурация контейнерных штабелей может быть совершенно разной.

Как отмечалось ранее, в вопросах обеспечения видимости часто участвуют легкие или порожние контейнеры верхних ярусов, перестановка которых не оказывает значительного влияния на дифферент (так же, как на остойчивость и прочность), но может оказывать значительное влияние на видимость с ходового мостика. В акваториях, имеющих ограничения по осадке и возвышению судна над уровнем воды, дифферент судна планируется заранее. Поэтому финальное формирование контейнерных штабелей для обеспечения видимости может выполняться в данном случае с учетом дифферента так, чтобы не изменять его. Суть методики отражена на рис. 2.

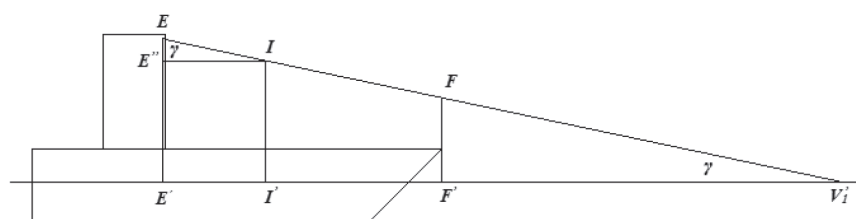


Рис. 2. Методика расчета через угол линии видимости γ в графическом виде

Тангенс рассчитывается из подобных прямоугольных треугольников $EE''I$ и $EE'V_1'$:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{EE''}{E''I} = \frac{EE'}{E'V_1'} \quad (3)$$

Используя обозначения конструктивных элементов и параметров судна, выражение (3) можно представить в виде

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{D_{h1} - D - AH_i}{ML_i + 0,75} = \frac{D_{h1} - d_{nav}}{L_f + 0,75 + L'_i} \quad (4)$$

Из выражения (4) «мертвая зона» видимости рассчитывается следующим образом:

$$L'_i = \frac{(ML_i + 0,75)(D_{h1} - d_{nav})}{D_{h1} - D - AH_i} - L_f - 0,75 \quad (5)$$

Суть определения «мертвой зоны» видимости с ходового мостика в практическом применении заключается в определении максимально допустимой высоты штабеля контейнеров в бэе i (MH_i). Для разных бэев MH_i будет разной: чем больше ML_i , тем меньше должна быть MH_i .

Выражение (6) описывает требуемое условие, при котором высота штабеля контейнеров на палубе в расчетном бэе i не должна превышать допустимую [11]:

$$\max_j \left(\sum_{i \in F, k \geq t_{\min ij}} h_{ijk} \right) \leq MH_i, \quad (6)$$

где F — бэи, расположенные в нос от надстройки.

Метод ступеней

Зная допустимую высоту штабеля контейнеров для данного бэа, можно определить количество контейнеров, которые могут быть погружены без нарушения требования к видимости с ходового мостика, и их комбинацию по высотам. Для этого предлагается использовать разработанный авторами *метод ступеней*, заключающийся в том, что штабель контейнеров в каждом бэе представляется как ступень воображаемой лестницы. При этом, очевидно, что для соблюдения требований к видимости, максимальные допустимые высоты этих ступеней (MH) должны снижаться по направлению от надстройки к носу судна.

Если фактическая высота штабеля превышает допустимую ($AH_i > MH_i$), то теоретическая линия видимости прервется в точке соприкосновения с верхним контейнером в штабеле — точке прерывания (I). Если фактическая высота штабеля равна или очень близка к допустимой ($AH_i \approx MH_i$), то теоретическая линия видимости, не прерываясь, коснется верхнего контейнера в штабеле — точки касания (I). Любые последующие увеличения дифферента судна на корму могут привести к тому, что эта линия будет прервана, так как точка касания сместится ближе к «глазу штурмана» и поднимется вверх. Это может быть вызвано расходом топлива или балластировкой во время рейса. Кратковременные прерывания линии видимости могут наблюдаться при значительной килевой качке. На практике это будет означать, что «мертвая зона» видимости превысит допустимые пределы. Если при загрузке контейнеров возникает точка прерывания, то загрузка должна быть пересмотрена с тем, чтобы устранить эту точку. Если при загрузке возникает точка касания, то она становится определяющей при расчете «мертвой зоны» видимости. Суть метода ступеней отражена на рис. 3.

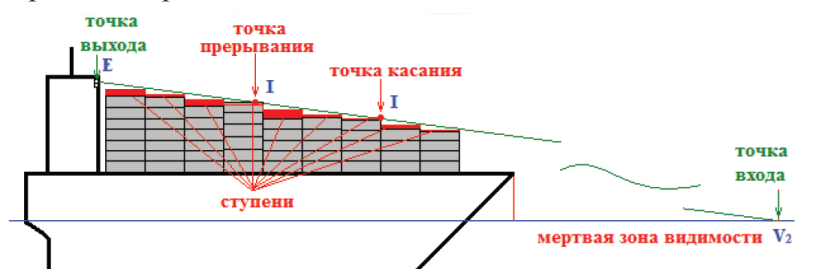


Рис. 3. Схематическое изображение метода ступеней

MH_i можно рассчитать из подобных прямоугольных треугольников $EE'V_2$ и $II'V_2$. Для расчетов используется треугольник видимости, представленный на рис. 4.

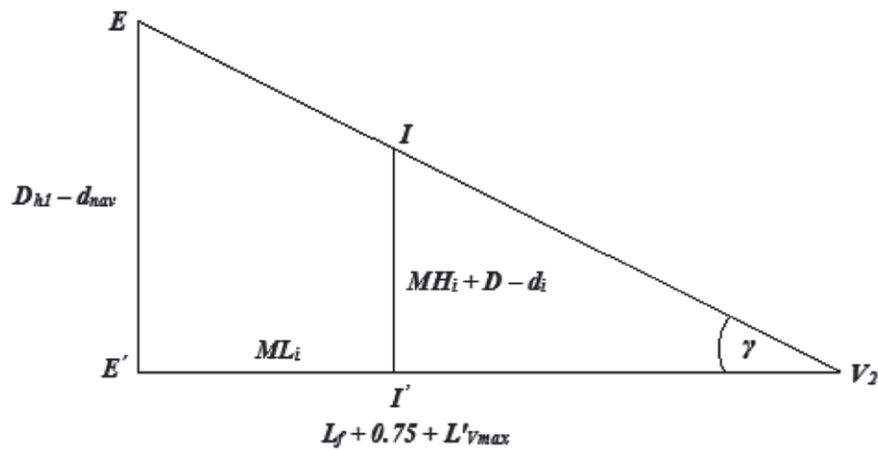


Рис. 4. Треугольник видимости

Из свойств подобных прямоугольных треугольников следует

$$\frac{II'}{EE'} = \frac{E'V_2 - E'I'}{E'V_2}$$

или в принятых обозначениях конструктивных элементов и параметров судна —

$$\frac{MH_i + D - d_i}{D_{hl} - d_{nav}} = \frac{L_f + 0,75 + L'_{v_{max}} - ML_i}{L_f + 0,75 + L'_{v_{max}}},$$

откуда

$$MH_i = \frac{(D_{hl} - d_{nav}) \cdot (L_f + 0,75 + L'_{v_{max}} - ML_i)}{L_f + 0,75 + L'_{v_{max}}} - D + d_i. \quad (7)$$

Значения d_{nav} и d_i необходимо рассчитывать для каждой конкретной посадки судна. Только в случае посадки судна на ровный киль все осадки будут равны между собой: $d_a = d_{nav} = d_m = d_i = d_f$ и дополнительных расчетов не потребуется.

Проекции ватерлиний судна при дифференте и на ровный киль пересекаются в точке X , абсцисса которой соответствует абсциссе центра тяжести площади ватерлинии. Эта точка отстоит от абсциссы мидель-шпангоута (M) на определенное расстояние, которое для разных осадок приводится в гидростатических таблицах судна. В данной работе для упрощения расчетов точка X сводится в точку M . Тогда принимается, что $\Delta d_m = 0$. Это считается оправданным, поскольку расстояние между точками X и M в большинстве практических случаев незначительно в масштабах длины судна и поэтому не оказывает серьезного влияния на суть предлагаемой методики расчетов. При необходимости расчеты можно выполнить и при условии, что $\Delta d_m \neq 0$, как и для любого промежуточного шпангоута, по описанному далее методу. Поправки на дифферент к осадкам, учитывающие отстояние марок углубления от перпендикуляров, приводятся в информации об остойчивости судна.

Для составления универсальной расчетной формулы необходимо рассмотреть случай с дифферентом, который представляется как линейное приращение или уменьшение осадки на конкретном шпангоуте. Для расчета изменений осадки используется универсальный треугольник осадок, приведенный на рис. 5. Здесь DD' — изменение осадки на перпендикуляре, dd' — изменение осадки на расчетном шпангоуте. Точки D и d лежат на теоретической ватерлинии при посадке судна на ровный киль. Точки D' и d' лежат на фактической ватерлинии при дифференте, X — точка пересечения ватерлиний.

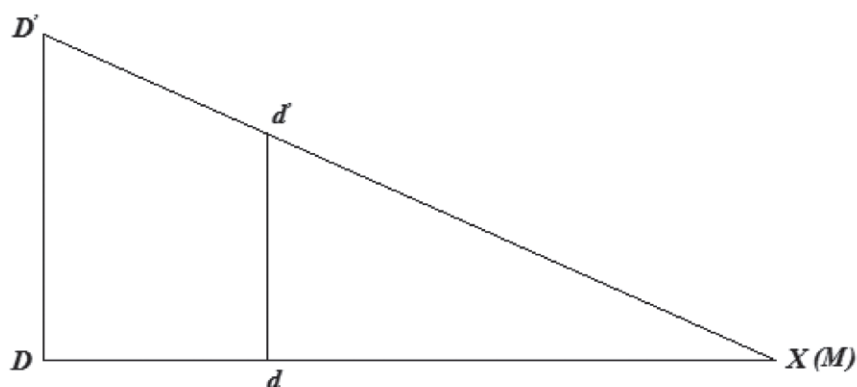


Рис. 5. Универсальный треугольник осадок

Из свойств подобных прямоугольных треугольников следует

$$dd' = \frac{DD' \cdot dM}{DM} \quad (8)$$

В зависимости от расположения расчетных шпангоутов (nav (EE'), i (II') и миделя (M)) выбираются расчетные элементы и применяются знаки в формуле (9). Для расчета важно учитывать расположение расчетных шпангоутов относительно друг друга. Для рассматриваемой задачи шпангоут i всегда находится в нос от шпангоута nav ($i > nav$ или $I > E$). Варианты взаимного расположения расчетных шпангоутов в зависимости от архитектурно-конструктивного типа контейнеровоза и состояния загрузки представлены на рис. 6.

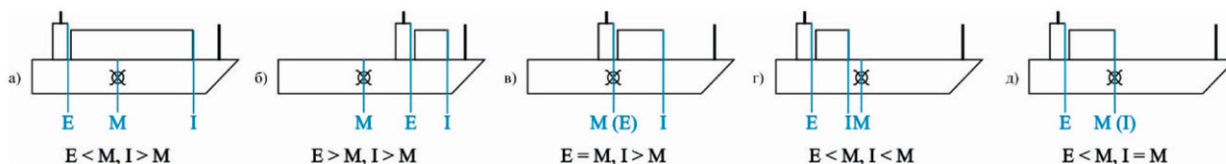


Рис. 6. Варианты взаимного расположения расчетных шпангоутов при разных архитектурно-конструктивных типах контейнеровозов и состояниях загрузки:
 а — $E < M, I > M$; б — $E > M, I > M$; в — $E = M, I > M$; г — $E < M, I < M$; д — $E < M, I = M$

Учитывая общую формулу (8), можно для каждого конкретного случая определить свою расчетную формулу в соответствии с матрицей, приведенной в табл. 2.

Таблица 2

Матрица расчетных элементов

Взаимное расположение шпангоутов	Знаки приращения осадок	Назначение расчетных элементов						
		Δd_{nav}	Δd_i	DD'	dM	DM	DD'	dM
Вариант а	+	-	Δd_a	$+L_{em}$	$L_a + L_{em}$	Δd_f	L_{mi}	$L_{bp} - L_a - L_{em}$
Вариант б	-	-	Δd_f	$-L_{em}$	$L_{bp} - L_a + L_{em}$	Δd_f	L_{mi}	$L_{bp} - L_a + L_{em}$
Вариант в	0	-	-	0	-	Δd_f	L_{mi}	$L_{bp} - L_a$
Вариант г	+	+	Δd_a	$+L_{em}$	$L_a + L_{em}$	Δd_a	$-L_{em}$	$L_a + L_{em}$
Вариант д	+	0	Δd_a	$+L_{em}$	$L_a + L_{em}$	-	0	-

Знаки расчетных элементов в табл. 2 указаны с учетом взаимного расположения расчетных шпангоутов и условий задания знаков, установленных для решаемой задачи. Поскольку рассматривается линейный дифферент на корму, $\Delta d_a > 0$, $\Delta d_f < 0$, а принятое упрощение о совпадении точек X и M означает, что $|\Delta d_a| = |\Delta d_f|$.

Фактические осадки находятся по формулам:

$$d_{nav} = d'_m + \Delta d_{nav};$$

$$d_i = d'_m + \Delta d_i.$$

Тогда формулу (7) можно представить в виде

$$MH_i = \frac{(D_{h_i} - (d'_m + \Delta d_{nav})) \cdot (L_f + 0,75 + L'_{v_{max}} - ML_i)}{L_f + 0,75 + L'_{v_{max}}} - D + (d'_m + \Delta d_i). \quad (9)$$

Высота штабеля контейнеров есть сумма высот контейнеров, из которых он составлен. Поскольку высота контейнеров стандартизирована, зная максимально допустимую высоту штабеля контейнеров для данного бэя (MH_{ic}), можно определить количество контейнеров, которые могут быть погружены без нарушения требований к видимости с ходового мостика, и их комбинацию по типам:

$$MN_{ic} = mh_c + nh_{HC}. \quad (10)$$

Максимальное количество контейнеров одной высоты в штабеле можно определить по формулам:

$$\left. \begin{aligned} m &= \left\lfloor \frac{MH_{ic}}{h_c} \right\rfloor; \\ n &= \left\lfloor \frac{MH_{ic}}{h_{HC}} \right\rfloor. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

На практике возникает необходимость размещения в одном штабеле контейнеров разной высоты: *стандартной* и *повышенной*. В таком случае используется следующий расчетный алгоритм.

1. Если определяющей является совокупность стандартных контейнеров (h_c) в штабеле, то используют следующие формулы:

$$\left. \begin{aligned} m &= \left\lfloor \frac{MH_{ic}}{h_c} \right\rfloor, \quad m \geq 1, \quad m \in N; \\ n &= \left\lfloor \frac{\left\{ \frac{MH_{ic}}{h_c} \right\} \cdot h_c}{h_{HC}} \right\rfloor, \quad n \geq 1, \quad n \in N \end{aligned} \right\}.$$

2. Если определяющей является совокупность контейнеров повышенной вместимости (h_{HC}) в штабеле, то используют следующие формулы:

$$\left. \begin{aligned} n &= \left\lfloor \frac{MH_{ic}}{h_{HC}} \right\rfloor, \quad n \geq 1, \quad n \in N; \\ m &= \left\lfloor \frac{\left\{ \frac{MH_{ic}}{h_{HC}} \right\} \cdot h_{HC}}{h_c} \right\rfloor, \quad m \geq 1, \quad m \in N \end{aligned} \right\}.$$

Кроме того, на практике возникает необходимость расчета количества контейнеров одного типа при известном количестве контейнеров другого типа в штабеле. В данном случае используют формулу

$$m = \left\lfloor \frac{MH_{ic} - nh_{HC}}{h_c} \right\rfloor, m \geq 1, m \in N$$

или

$$n = \left\lfloor \frac{MH_{ic} - mh_c}{h_{HC}} \right\rfloor, n \geq 1, n \in N.$$

Пример 1. Необходимо определить максимальную высоту штабеля контейнеров для заданных условий, используя фактические данные контейнеровоза *C*-серии компании *Mitsui O.S.K. Lines* (8110 ДФЭ):

$$D_{hl} = 54,4 \text{ м}; d_a = 14,5 \text{ м}; d_f = 13,5 \text{ м}; L_f = 226,28 \text{ м}; L'_{vmax} = 500 \text{ м}; ML_i = 142,5 \text{ м}; D = 25 \text{ м}; \\ L_{em} = 64,3 \text{ м}; L_a = 84,5 \text{ м}; L_{bp} = 302 \text{ м}; L_{mi} = 79 \text{ м}; CH = 2,27 \text{ м}.$$

Вариант загрузки и архитектурно-конструктивный тип судна соответствуют варианту 1 табл. 2. Тогда

$$\Delta d_{nav} = \frac{\Delta d_a \cdot L_{em}}{L_a + L_{em}} = \frac{0,5 \cdot 64,3}{84,5 + 64,3} = 0,22 \text{ м};$$

$$\Delta d_i = \frac{\Delta d_f \cdot L_{mi}}{L_{bp} - L_a - L_{em}} = \frac{-0,5 \cdot 79}{302 - 84,5 - 64,3} = -0,26 \text{ м};$$

$$d'_m = \frac{d_f + d_a}{2} = \frac{13,5 + 14,5}{2} = 14,0 \text{ м};$$

$$MH_i = \frac{(54,4 - 14,0 + 0,22) \cdot (226,28 + 0,75 + 500 - 142,5)}{226,28 + 0,75 + 500} - 25 + (14,0 - 0,26) = 21,4 \text{ м};$$

$$MH_{ic} = MH_i - CH = 21,4 - 2,27 = 19,13 \text{ м}.$$

Пример 2. Рассчитать варианты формирования штабеля при максимально допустимой высоте штабеля (MH_{ic}) в 19,13 м.

Количество стандартных контейнеров, которые могут быть погружены в данный штабель,

$$m = \left\lfloor \frac{MH_{ic}}{h_c} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{19,13}{2,6} \right\rfloor = \lfloor 7,4 \rfloor = 7 \text{ контейнеров}.$$

Количество контейнеров повышенной вместимости, которые могут быть погружены в данный штабель,

$$n = \left\lfloor \frac{MH_{ic}}{h_{HC}} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{19,13}{2,9} \right\rfloor = \lfloor 6,6 \rfloor = 6 \text{ контейнеров}.$$

Возможность смешанной загрузки контейнеров, с учетом рассмотренного ранее варианта 1 табл. 2,

$$n = \left\lfloor \frac{\left\{ \frac{MH_{ic}}{h_c} \right\} \cdot h_c}{h_{HC}} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{0,4 \cdot 2,6}{2,9} \right\rfloor = \lfloor 0,36 \rfloor = 0.$$

Поскольку $n < 1$, требование не выполняется. Поэтому догрузить контейнер повышенной вместимости в данных условиях не получится,

$$m = \left\lfloor \frac{\left\{ \frac{MH_{ic}}{h_{HC}} \right\} \cdot h_{HC}}{h_C} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{0,6 \cdot 2,9}{2,6} \right\rfloor = \lfloor 0,7 \rfloor = 0.$$

Поскольку $m < 1$, требование не выполняется. Поэтому догрузить стандартный контейнер в данных условиях не получится.

Пример 3. Определить возможность смешанной загрузки контейнеров, когда задано требуемое количество контейнеров одного типа, $MH_{ic} = 19,13$ м.

При $m = 4$

$$n = \left\lfloor \frac{MH_{ic} - mh_C}{h_{HC}} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{19,13 - 4 \cdot 2,6}{2,9} \right\rfloor = \lfloor 3,4 \rfloor = 3.$$

Следовательно, можно догрузить три контейнера повышенной вместимости.

При $n = 5$

$$m = \left\lfloor \frac{MH_{ic} - nh_{HC}}{h_C} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{19,13 - 5 \cdot 2,9}{2,6} \right\rfloor = \lfloor 1,8 \rfloor = 1.$$

Следовательно, можно догрузить один стандартный контейнер.

Заключение

Следует отметить, что при рассмотрении данного вопроса использовалось несколько значений осадок судна. В частности, были введены значения осадки на шпангоуте ходового мостика *nav* (*EE'*) и на шпангоуте расчетного бэя *i* (*II'*). На практике в настоящее время используются осадки носом, кормой и на миделе, для снятия которых на борту судна нанесены марки углублений и могут быть установлены специальные датчики.

Определение промежуточных осадок (на промежуточных шпангоутах) может быть выполнено следующими способами:

- расчетным;
- техническим.

Расчетный способ заключается в использовании линейного интерполирования и рассмотрен в данной работе, *технический способ* — в использовании датчиков осадок, установленных по корпусу судна, в частности в рамках системы оперативного контроля деформаций корпуса контейнеровоза (СОКДКК) [12], [13]. При этом также может быть использована линейная интерполяция.

Важно учитывать, что помимо требований СОЛАС-74 видимость с ходового мостика может регламентироваться и региональными правилами, которые, однако, не должны им противоречить. В частности, морская администрация Панамского канала (АСР) устанавливает свои правила в отношении видимости с ходового мостика [10].

Предложенный метод ступеней и основанный на нем расчетный алгоритм позволяют определить:

- 1) фактическую мертвую зону видимости для данной загрузки;
- 2) максимально допустимую высоту штабеля каждого бэя для требуемого значения видимости;
- 3) бэй, в котором превышена максимально допустимая высота штабеля;
- 4) комбинацию контейнеров для формирования штабеля исходя из приоритетных требований: максимального количества контейнеров, максимальной видимости и т. п.;
- 5) влияние изменения посадки судна на видимость при одинаковой и изменяющейся загрузке; и другое.

Следует отметить, что предложенный алгоритм может использоваться для выполнения расчетов с использованием любых промежуточных значений мертвой зоны видимости, а не только

для максимальных, которые регламентированы СОЛАС. Для этого достаточно подставить в формулу соответствующие значения.

Расчетный метод предложенного алгоритма неоднократно использовался авторами на практике во время работы в качестве грузового помощника капитана крупнотоннажных контейнеровозов при совместной с портовыми планерами проработке грузового плана и полностью себя оправдал. Внедрение предложенного алгоритма как программного модуля грузовых программ контейнеровозов позволит грузовому помощнику капитана легко контролировать составление грузового плана и на раннем этапе устранять нарушения, которые приводят к ограничениям видимости с ходового мостика. При этом программа сможет предлагать варианты формирования контейнерного штабеля исходя из заданных условий, включая обеспечение необходимой остойчивости и прочности судна.

Представляется целесообразным, чтобы система управления безопасностью (СУБ) судна, разрабатываемая судовладельцем, включала конкретные требования в отношении обеспечения видимости с ходового мостика. Такие требования могут содержать предложенные в данной работе процедуру и расчетный алгоритм, адаптированные под конкретные требования судовладельца и технические характеристики судна. Это позволит повысить эффективность СУБ в части обеспечения безопасной эксплуатации судов [14] и снизить вероятность аварий, возникающих ввиду недостаточной видимости с ходового мостика, а также избежать штрафных санкций, которые могут быть наложены на судно морскими администрациями из-за нарушения требований к видимости при плавании в регулируемых акваториях. Таким образом, практическая целесообразность включения предложенного алгоритма в качестве расчетного модуля грузовых программ контейнеровозов для обеспечения их безопасной эксплуатации считается обоснованной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Международная Конвенция по охране человеческой жизни на море 1974 года (СОЛАС-74). — СПб.: ЗАО ЦНИИМФ, 2015. — 1087 с.
2. Japan Transport Safety Board. Marine Accident Investigation Report MA 2015-10 / JTSB. — Tokyo, 2015.
3. Report on investigation into marine accident m/v Godafoss V2PM7 grounding in Loperen, Hvaler on 17 February 2011 / AIBN. — Lillestrom: Accident Investigation Board Norway, 2012. — 86 p.
4. *Логиновский В. А.* Моделирование оценки вероятности посадки судна на грунт с помощью нечетких чисел / В. А. Логиновский, А. А. Струков // Журнал Университета водных коммуникаций. — 2013. — № 1 (20). — С. 89–96.
5. *Некрасов С. Н.* Комбинированный метод оценки навигационной безопасности при плавании по внутренним водным путям / С. Н. Некрасов, А. А. Прохоренков // Журнал Университета водных коммуникаций. — 2011. — № 1. — С. 106–108.
6. *Царик Р. С.* Перспективы развития судов контейнеровозов / Р. С. Царик, Д. А. Акмайкин // Материалы юбилейной десятой междунар. науч.-практ. конф. «Проблемы транспорта Дальнего Востока». — Владивосток, 2013. — С. 149–154.
7. *Pacino D.* Fast generation of container vessel stowage plans. PhD Thesis. / D. Pacino. — Copenhagen: IT University, 2012. — 104 p.
8. XVELA. PowerStow Brochure. — USA, Oakland: XVELA, 2015. — 4 p.
9. StowMan: Case Study. — Germany, Schenefeld: Interschalt Maritime Systems AG, 2015. — 76 p.
10. The Panama Canal Authority. Advisory to Shipping No. A-17-2012. — Panama: PCA, 2012. — 3 p.
11. *Zeng M.* Automated stowage planning for large containerships with improved safety and stability / M. Zeng, M. Y. H. Low, W. J. Hsu, S. Y. Huang, F. Liu, C. A. Win // Proceedings of the Winter Simulation Conference. — Winter Simulation Conference, 2010. — Pp. 1976–1989.
12. *Царик Р. С.* Управление рисками и снижение аварийности в морских контейнерных перевозках / Р. С. Царик, Д. А. Акмайкин, М. А. Москаленко, С. В. Лосев // Транспорт: наука, техника, управление. — 2015. — № 2. — С. 37–42.

13. Царик Р. С. Анализ причин и возможностей учета деформаций корпуса контейнеровоза / Р. С. Царик, Д. А. Акмайкин // Вестник государственного морского университета им. адм. Ф. Ф. Ушакова. — 2015. — № 2 (11). — С. 39–41.

14. Сазонов А. Е. Использование метода экспертных отношений предпочтения для оценки уровня совершенства системы управления безопасностью морского судна / А. Е. Сазонов, Г. С. Осипов, В. Д. Клименко // Журнал Университета водных коммуникаций. — 2013. — № 3 (19). — С. 94–104.

DEVELOPMENT OF CONTAINER STACK FORMING ALGORITHM FOR ENSURING OF REQUIRED VISIBILITY FROM NAVIGATION BRIDGE OF CONTAINER SHIP

In the article development of container stack forming algorithm for ensuring of required visibility from navigation bridge of container ship is considered. Mathematical methods, including geometrical plotting, and practical knowledge of safety ensuring on container ships are used. New steps method for ensuring of required visibility from navigation bridge, and based on it algorithm of container stack forming at the stage of container stowage planning, in accordance with established restrictions is proposed. Universal compatibility of proposed method for using it on container ships of different design in any loading condition noticed. Calculation examples based on proposed algorithm, using actual particulars of container ship of large capacity, confirming functionality and effectiveness of the method, are considered. Practical suitability of inclusion of proposed algorithm into container ships' cargo programs as calculation module for safety ensuring is consequently substantiated.

Keywords: container ships, navigation bridge visibility, blind zone of visibility, container stack, container stowage plan, safety of navigation.

REFERENCES

1. Mezhdunarodnaja Konvencija po ohrane chelovecheskoj zhizni na more 1974 goda (SOLAS-74). SPb.: ZAO CNIIMF, 2015.
2. Japan Transport Safety Board. Marine Accident Investigation Report MA 2015-10 / JTSB. Tokyo, 2015.
3. Report on investigation into marine accident m/v Godafoss V2PM7 grounding in Loperen, Hvaler on 17 February 2011 / AIBN. Lillestrom: Accident Investigation Board Norway, 2012.
4. Loginovskij, V. A., and A. A. Strukov. "Modeling of the probability assessment of grounding the vessel by fuzzy numbers." Zhurnal Universiteta vodnyh kommunikacij 1(20) (2013): 89–96.
5. Nekrasov, S. N., and A. A. Prohorenkov. "Combined simulation while estimation of inland waterway navigation safety." Zhurnal Universiteta vodnyh kommunikacij 1 (2011): 106–108.
6. Tsarik, R. S., and D. A. Akmaykin. "Perspektivy razvitiya sudov kontejnerovozov." Materialy jubilejnoi desjatoj mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii Problemy transporta Dalnego Vostoka. Vladivostok, 2013: 149–154.
7. Pacino, D. Fast generation of container vessel stowage plans. PhD Thesis. Copenhagen: IT University, 2012.
8. XVELA. PowerStow Brochure. USA, Oakland: XVELA, 2015.
9. StowMan: Case Study. Germany, Schenefeld: Interschalt Maritime Systems AG, 2015.
10. The Panama Canal Authority. Advisory to Shipping No. A-17-2012. Panama: PCA, 2012.
11. Zeng, M., M. Y. H. Low, W. J. Hsu, S. Y. Huang, F. Liu, and C. A. Win. "Automated stowage planning for large containerships with improved safety and stability." Proceedings of the Winter Simulation Conference. Winter Simulation Conference, 2010: 1976–1989.
12. Tsarik, R. S., D. A. Akmaykin, M. A. Moskalenko, and S. V. Losev. "Risk management and reduction of accident rate in container shipping." TRANSPORT: Science, Technology, Management 2 (2015): 37–42.
13. Tsarik, R. S., and D. A. Akmaykin. "Cause and count capability analysis container ship's hull deformation." Vestnik gosudarstvennogo morskogo universiteta im. admirala F.F. Ushakova 2(11) (2015): 39–41.
14. Sazonov, A. E., G. S. Osipov, and V. D. Klimenko. "Using expert preference relations to assess the perfection level of ships safety management system." Zhurnal Universiteta vodnyh kommunikacij 3(19) (2013): 94–104.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Царик Руслан Станиславович — аспирант.
Научный руководитель:
Акмайкин Денис Александрович
МГУ им. адм. Г.И. Невельского
rex-infinity@yandex.ru
Акмайкин Денис Александрович —
кандидат физико-математических наук, доцент.
МГУ им. адм. Г.И. Невельского
akmaykin@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Tsarik Ruslan Stanislavovich — postgraduate.
Supervisor:
Akmaykin Denis Aleksandrovich
MSU named after adm. G.I. Nevelskoy
rex-infinity@yandex.ru
Akmaykin Denis Aleksandrovich —
PhD, associate professor.
MSU named after adm. G.I. Nevelskoy
akmaykin@gmail.com

Статья поступила в редакцию 13 апреля 2016 г.

DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-4-43-50
УДК 656.6

А. Л. Кузнецов,
А. В. Галин

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЕМ
СОВРЕМЕННОГО МОРСКОГО ПОРТА**

На основе анализа характеристик и параметров обоснована уникальность каждого порта, обусловленная наличием множества моделей их развития. Доказана необходимость единой процедуры анализа условий, управляющих факторов и возмущающих воздействий, гарантирующей адекватность выбора направления развития порта. Показано, что любой проект строительства нового или развития существующего порта должен основываться на научном анализе текущего (начального) и конечного (целевого) состояний и процедуре перехода между этими состояниями в пространстве оцениваемых параметров. Сформулированы методологические принципы прогнозирования и проектирования развития портов на основе сценарно-событийного прогноза, использования комплексного анализа всего пространства возможного развития основных факторов и уровня их влияния на порт в будущем как альтернативы традиционным инерциальным методам. Выводы подкреплены примерами развития конкретных портов.

Ключевые слова: дискретно-событийное моделирование, развитие порта, методология, событийный прогноз.

Введение

Экономический рост и развитие производства невозможны без опоры на эффективную транспортную инфраструктуру страны, обеспечивающей взаимодействие производственных систем и отраслей. Для создания и функционирования эффективной транспортной инфраструктуры необходимо создание новых и реконструкция существующих объектов транспортной системы страны. Такая задача определена в «Транспортной стратегии РФ на период до 2030 г.» как на долгосрочную перспективу, так и в виде программы развития на ближайшие годы [1]. Федеральная целевая программа «Модернизация транспортной системы России» ставит серьезные задачи по развитию и модернизации транспортной инфраструктуры страны, требующие значительных бюджетных и привлеченных частных инвестиций на ее осуществление. Масштабность поставленных задач и сложившаяся непростая экономическая ситуация требуют особенно тщательного и детального обоснования эффективности инвестиций, что напрямую связано с корректностью расчетов параметров будущего объекта.