

18. Programa «PCTrans». Web. 10 June 2015 <<https://www.defensie.nl/english/topics/hydrography/contents/nautical-products/nautical-software-programs/pctrans>>.

19. Firsov, Y. G. “Zifrovie modeli relief dna i analiz batimetricheskikh profilei dlia formirovaniya vneshnei granizi kontinentalnogo shelfa Rossii v Arktike.” *Zbornik materialov VI Mejdunarodnogo nauchnogo kongresa “GEO-Sibir-2011”*. Novosibirsk: SGGA, 2011: 153-162.

20. Maritime jurisdiction and boundaries in the Arctic region. Durham University. International Boundary Research Unit, 2008. Web. 15 September 2015 <https://www.dur.ac.uk/resources/ibru/resources/ibru_arctic_map_27-02-15.pdf>. <<https://www.dur.ac.uk/resources/ibru/resources/Arcticmap04-08-15.pdf>> <https://www.dur.ac.uk/resources/ibru/resources/ArcticmapRussianonlyclaims05_08_15.pdf>

21. Funk, M. K., and J Vessels. “Arctic land grab.” *National Geographic* 215.5 (2009): 107-121.

22. Barrett, Paul, and Benjamin Elgin. “Inside Shell’s Extreme Plan to Drill for Oil in the Arctic. A global oil glut has tanked prices and cut profits—so why won’t Shell give up on the north?” *Bloomberg Business* August 5, 2015. Web. 06 August 2015 <<http://www.bloomberg.com/news/features/2015-08-05/inside-shell-s-extreme-plan-to-drill-for-oil-in-the-arctic>>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Фирсов Юрий Георгиевич –
 кандидат технических наук, доцент.
 ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
 адмирала С. О. Макарова»
gidrograph@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Firsov Yury Georgievich –
 Candidate of Engineering, associate professor.
 Admiral Makarov State University for Maritime
 and Inland Shipping
gidrograph@mail.ru

УДК 656.61.052

С. В. Ермаков

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФАКТИЧЕСКОЙ ДАЛЬНОСТИ ВИДИМОСТИ ОГНЕЙ МАЯКОВ ПО УКАЗАННОЙ НА КАРТЕ ВЕЛИЧИНЕ

Рассмотрены различные виды многообразного понятия «дальность видимости», используемые в целях судовождения: географическая, оптическая, стандартная, номинальная, метеорологическая, фактическая. Описаны правила, используемые при указании дальности видимости маяка на морской навигационной карте, различные для российских и иностранных маяков. Рассмотрены и проанализированы алгоритмы определения фактической дальности видимости огней российских маяков по указанной на карте величине. Выявлены особенности этих алгоритмов и их ограничения, не позволяющие в отдельных случаях определить фактическое значение исследуемой характеристики маяка при указании на карте географической дальности видимости для высоты глаза, равной 5 м. Предложено изменить содержание указанной на карте информации о российских маяках посредством использования предложенной Международной ассоциацией маячных служб (МАМС) и используемой на картах и в пособиях для иностранных маяков номинальной оптической дальности видимости вместо географической и стандартной, и включения в эту информацию высоты маяка.

Ключевые слова: маяки, дальность видимости, морская навигационная карта.

ИНФОРМАЦИЯ, которую должен принимать во внимание судоводитель при планировании и безопасном осуществлении перехода, должна включать среди прочего дальности открытия и закрытия огней маяков, которые встречаются на пути следования судна [1], [2]. Один из способов определения дальности открытия (закрытия) $D_{\text{факт}}$ основан на использовании дальности видимости $D_{\text{к}}$, указанной на морской навигационной карте в числе характеристик огней маяков. Однако даже первичных знаний о навигации достаточно, чтобы по-

нять — дальность D_k является лишь некоторой оценочной величиной для $D_{\text{факт}}$, в общем случае не совпадает с ней и служит только базой для определения этой дальности.

Указанная на карте дальность видимости может быть географической или оптической — стандартной или номинальной [3] – [6]. Географическая дальность видимости — дальность видимости маяков для Земли-шара (геометрическая дальность) с учетом земной рефракции. Она зависит от высоты e глаза, высоты h маяка и коэффициента K земной рефракции [7], [8]. Оптическая дальность видимости огня — наибольшее расстояние, с которого освещенность, создаваемая на зрачке глаза наблюдателя источником света, становится равной пороговой освещенности (достигает границы между воспринимаемыми и невоспринимаемыми освещенностями). Номинальная дальность видимости $D_{\text{ном}}$ — оптическая дальность видимости огня в однородной атмосфере при коэффициенте прозрачности, равном 0,74. Стандартная дальность видимости $D_{\text{ст}}$ отличается от номинальной только коэффициентом прозрачности, которая здесь равна 0,80. Как номинальная, так и стандартная дальности видимости позволяют известными способами (например, по номограмме 2.5 МТ-2000) определить оптическую дальность видимости $D_{\text{опт}}$ огней. Однако для этого необходимо знать еще одну дальность видимости — метеорологическую $D_{\text{мет}}$.

Под метеорологической дальностью видимости понимается наибольшее расстояние, на котором при существующей дальности атмосферы и нормальном дневном свете теряется видимость эталонного объекта. Метеорологическая дальность видимости является по своей сути безотносительной к силе огней маяка характеристикой видимости в конкретном районе плавания для строго определенного времени плавания. Она определяется специальными методами и приборами и сообщается в гидрометеорологических прогнозах [9].

До недавнего времени на английских картах указывалась географическая дальность видимости для высоты глаза 15 футов. На современных морских навигационных картах на иностранные воды (как на отечественных, так и на зарубежных) указывается номинальная дальность видимости, введенная по инициативе МАМС. Те же самые значения содержатся и в отечественных пособиях «Огни», и в адмиралтейских «Admiralty List of Lights and Fog Signals». В разделе «Special Remarks» («Специальные замечания») последних перечисляются государства, которые в отношении своих маяков используют на картах дальность видимости иную, чем номинальная. Одним из таких государств является Российская Федерация. Для российских маяков как на отечественных, так и на зарубежных картах указывается меньшая из двух величин: либо стандартная дальность видимости, либо географическая для высоты глаза 5 м. Однако при этом не конкретизируется — какая именно дальность видимости указывается. Для того чтобы определить вид дальности видимости, сначала необходимо, используя известную формулу [10],

$$D_r = 2,1(\sqrt{h} + \sqrt{e}), \quad (1)$$

определить географическую дальность видимости для высоты глаза 5 м

$$D_5 = 2,1(\sqrt{h} + \sqrt{5}) = 2,1\sqrt{h} + 4,7, \quad (2)$$

и сравнить ее с указанной на карте величиной. Если вычисленная по формуле (2) дальность будет совпадать с указанной на карте, то последняя является географической дальностью видимости для высоты глаза 5 м $D_k = D_5$. В противном случае на карте указана стандартная дальность видимости $D_k = D_{\text{ст}}$.

Для примера по формуле (2) рассчитаем географическую дальность видимости D_5 для двух маяков, расположенных на российском побережье южной части Балтийского моря — для маяка Обзорный ($h = 54$ м; $D_k = 20$ миль) и маяка Щукинский ($h = 50$ м; $D_k = 8$ миль). Для первого из них географическая дальность видимости равна 20,1 мили и практически совпадает с указанной на карте величиной. Следовательно, именно географическая дальность видимости маяка для высоты глаза 5 м указана на карте для маяка Обзорный. В свою очередь, для маяка Щукинский указана стандартная дальность видимости, так как величина, представленная на карте и равная 8 милям, значительно отличается от рассчитанной (19,5 миль).

Для определения фактической дальности видимости огней маяка (дальности открытия или закрытия) в случае, если на карте указана географическая дальность видимости D_5 , необходимо учесть фактическую высоту глаза наблюдателя, используя очевидную формулу [10]:

$$D_{\text{факт}} = D_5 + 2,1\sqrt{e} - 4,7. \quad (3)$$

Однако во многих учебниках и учебных пособиях формула (3) по умолчанию распространяется на дальность видимости, указанную на карте, безразлично к виду этой дальности. И только в некоторых источниках указано, что если на морской навигационной карте указана стандартная дальность, то поправкой за высоту глаза наблюдателя ее исправлять не следует. Вместе с тем, для подтверждения или опровержения правомерности такого категоричного и одновременно интуитивного утверждения (гипотезы) необходимо провести некоторый анализ.

Рассмотрим ситуацию, когда оптическая дальность видимости маяка, полученная по указанной на карте стандартной, меньше дальности видимости горизонта с высоты маяка $D_{\text{гор}} = 2,1\sqrt{h}$, т. е. $D_{\text{опт}} < D_{\text{гор}}$ (рис. 1).

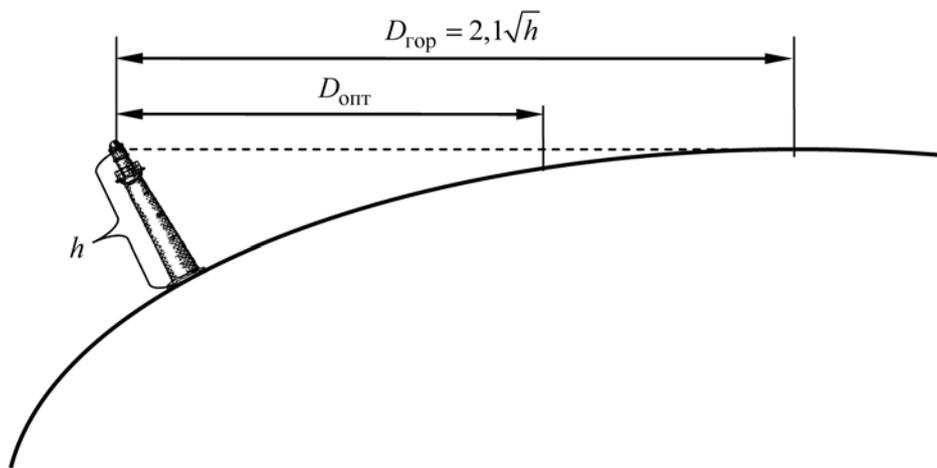


Рис. 1. Оптическая дальность видимости меньше дальности видимости горизонта с высоты маяка (высота глаза не учитывается)

Из рис. 2, построенного без учета кривизны земной поверхности, очевидно, что на заявленной дальности видимости маяк откроется только в случае, если его высота и высота глаза наблюдателя будут равны. В противном случае фактическая дальность видимости (дальность открытия или закрытия) будет определяться формулой

$$D_{\text{факт}} = \sqrt{D_{\text{опт}}^2 - (h - e)^2}. \quad (4)$$

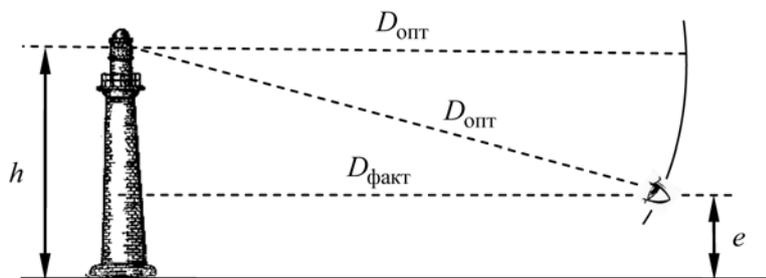


Рис. 2. Оптическая дальность видимости меньше дальности видимости горизонта с высоты маяка (к анализу необходимости учета высоты глаза наблюдателя)

Для оптической дальности видимости, равной 2 милям, разности $h - e = 100$, получим фактическую дальность видимости огней маяка, лишь в четвертом знаке отличающуюся от оптической.

Таким образом, с практической точки зрения действительно можно пренебрегать высотой глаза наблюдателя при расчете фактической дальности по дальности стандартной. Тем более нельзя использовать формулу (3), что является наиболее распространенной ошибкой.

В случае, когда оптическая дальность видимости маяка, полученная по указанной на карте стандартной, больше дальности видимости горизонта с высоты маяка, т.е. $D_{\text{опт}} > D_{\text{гор}}$, огни маяка откроются для наблюдателя на расстоянии $D_{\text{опт}}$, только если высота глаза будет больше некоторого критического значения $e_{\text{кр}}$, определяемого формулой

$$e_{\text{кр}} = \left(D_{\text{опт}} / 2,1 - \sqrt{h} \right)^2. \quad (5)$$

Например, для некоторого маяка А высотой 25 м и $D_{\text{опт}} = 14$ миль ($D_{\text{опт}} > D_{\text{гор}} = 2,1\sqrt{25} = 10,5$ мили) критическое значение высоты глаза будет равно 2,78 м. В противном случае ($e < e_{\text{кр}}$) фактическая дальность $D_{\text{факт}}$ видимости огней будет меньше $D_{\text{опт}}$ (рис. 3) на величину, равную

$$\Delta D = 2,1 \left(\sqrt{e_{\text{кр}}} - \sqrt{e} \right), \quad (6)$$

и, по сути, будет являться географической. Иными словами, даже указание на карте стандартной дальности видимости не освобождает судоводителя от обязанности определять вместе с оптической и географическую дальность видимости, а из них уже выбирать наименьшую.

Конечно, ситуация, когда высота глаза наблюдателя меньше 5 м, для современного судовождения являются редкостью, но исключать из анализа эту ситуацию нельзя.

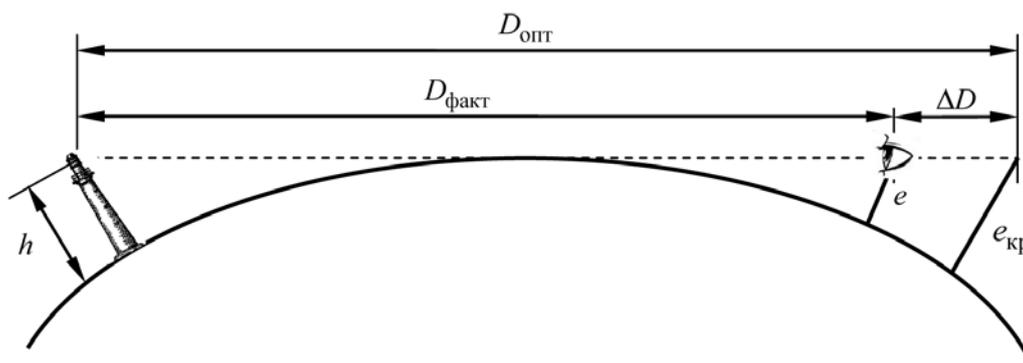


Рис. 3. Соотношение стандартной и фактической дальностей видимости при высоте глаза меньше критической

Так, для того же маяка А в случае фактической высоты глаза $e = 2,4 \text{ м} < e_{\text{кр}}$, получим:

$$\Delta D = 2,1 \left(\sqrt{2,78} - \sqrt{2,0} \right) = 0,5 \text{ мили}; D_{\text{факт}} = 14 - 0,5 = 13,5 \text{ мили}.$$

Очевидно, что при выполнении условия $D_{\text{опт}} > D_{\text{гор}}$ на карте указывается стандартная дальность видимости только тогда, когда критическое значение высоты глаза, соответствующее стандартной дальности, будет меньше 5 м. В противном случае ($e_{\text{кр.ст}} > 5 \text{ м}$) стандартная дальность видимости больше географической, рассчитанной для высоты глаза 5 м, и на карте указывается последняя. Однако это совсем не означает, что для перехода к фактической дальности видимости во всех случаях можно использовать формулу (3). Из этой же формулы, как и из геометрических построений, следует, что с увеличением высоты глаза увеличивается и географическая дальность видимости маяка. Вместе с тем, при превышении фактической высоты глаза рассмотренного выше критического значения $e_{\text{кр}}$ географическая дальность видимости $D_{\text{г}}$, рассчитанная по формуле (3), будет больше оптической дальности видимости $D_{\text{опт}}$ (рис. 4). В этом случае, несмотря на то, что на карте будет указана географическая дальность видимости для высоты глаза 5 м, дающая возможность по формуле (3) получить географическую дальность видимости для фактического значения высоты глаза, огни маяка откроются на расстоянии, равном оптической дальности видимости.

Например, для некоего маяка Б высотой 20 м, у которого $D_{\text{опт}} = 16$ миль ($e_{\text{кр}} = 9,9$ м), на карте будет указана географическая дальность видимости для высоты глаза 5 м, которая равна 14 милям. Для высоты глаза 14 м по формуле (3) получаем $D_{\text{г}} = 17,2$ мили, но, очевидно, что огни маяка Б откроются только на расстоянии 16 миль.

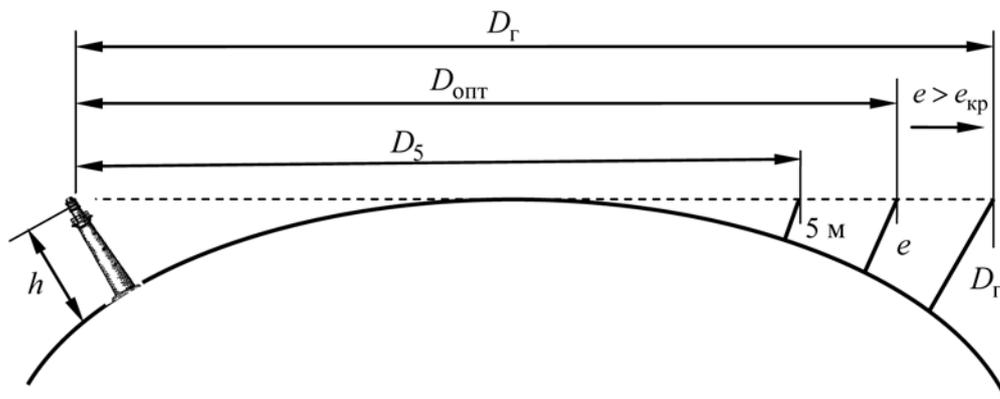


Рис. 4. Соотношение географической и оптической дальностей видимости при высоте глаза больше критической

Географическая дальность видимости $D_{\text{к}}$, указанная на карте, и оптическая дальность видимости $D_{\text{опт}}$ связаны соотношением

$$D_{\text{опт}} = D_{\text{к}} + 2,1\sqrt{e_{\text{кр}}} - 4,7. \quad (7)$$

Кроме того, метеорологическая (для одной и той же акватории) и, следовательно, оптическая (для огней одного и того же маяка) дальности видимости могут иметь различные значения. При этом реальная оптическая дальность видимости в разное время может быть как меньше географической дальности видимости (то есть определять фактическую дальность видимости), так и больше ее. Т. е., даже при указании на карте географической дальности видимости для высоты глаза 5 м фактическая дальность видимости может определяться оптической дальностью видимостью. Однако в таком случае в распоряжении судоводителя информация об оптической дальности видимости маяка будет отсутствовать, так как ему не будет известна стандартная дальность видимости. В итоге судоводитель не будет иметь возможности определить фактическую дальность открытия или закрытия маяков.

Таким образом, возможны четыре случая:

1) стандартная дальность видимости меньше географической дальности видимости, рассчитанной для высоты глаза 5 м (на карте указана первая), а рассчитанная по стандартной оптической дальности видимости меньше дальности видимости горизонта с высоты маяка — для определения фактической дальности видимости необходимо использовать непосредственно стандартную дальность видимости без исправления ее на высоту глаза;

2) стандартная дальность видимости меньше географической дальности видимости, рассчитанной для высоты глаза 5 м (на карте указана первая), а рассчитанная по стандартной оптической дальности видимости больше дальности видимости горизонта с высоты маяка — для определения фактической дальности видимости необходимо рассчитать как оптическую дальность видимости, так и географическую дальность видимости и выбрать из них наименьшую;

3) стандартная дальность видимости больше географической дальности видимости, рассчитанной для высоты глаза 5 м (на карте указана последняя), а оптическая дальность видимости меньше географической, рассчитанной для фактической высоты глаза (фактическая высота глаза меньше критической) — для определения фактической дальности видимости необходимо использовать формулу (3);

4) стандартная дальность видимости больше географической дальности видимости, рассчитанной для высоты глаза 5 м (на карте указана последняя), а оптическая дальность видимости больше географической, рассчитанной для фактической высоты глаза (фактическая высота глаза больше критической) — фактическая дальность видимости определяется оптической, но вычислить последнюю не представляется возможным.

Таким образом, указанная на карте величина географической дальности видимости не дает судоводителю возможности различить третий и четвертый случаи и корректно определить фактическую дальность видимости маяка. Вместе с тем, очевидно, что открытие огней маяка на расстоянии, отличном от ожидаемого (рассчитанного) судоводителем может дезориентировать последнего и крайне негативного сказаться на навигационной безопасности плавания судна. Кроме того, существуют и иные проблемы, обусловленные неоднозначностью указанных на картах дальностей видимостью российских маяков. Так, многообразие номенклатуры используемых на картах дальностей видимости приводит к тому, что в пособиях или даже в пределах одной карты (практически для находящихся рядом маяков) указываются дальности видимости различного вида с разными алгоритмами расчета фактической дальности видимости. Это также может привести к грубой ошибке судоводителя при определении величины $D_{\text{факт}}$.

Единственным эффективным способом решения проблемы многообразия указанных на картах дальностей видимости является их унификация через указание для всех маяков номинальной дальности видимости. Тогда алгоритм расчета дальности видимости фактической становится простым и однозначным:

1) по номинальной дальности видимости с использованием объявленной метеорологической дальности видимости определяется оптическая дальность видимости;

2) по высоте маяка и высоте глаза наблюдателя определяется географическая дальность видимости;

3) из двух определенных величин наименьшая принимается за фактическую дальность видимости.

Здесь наиболее рациональным форматом записи дальности видимости видится формат, используемый на современных английских морских навигационных картах, где перед номинальной дальностью видимости указывается высота маяка. Это избавит процедуру определения фактической дальности видимости от необходимости обращения к пособиям и сделает его более оперативным.

Во всяком случае, пока для российских маяков дальности видимости на картах указываются по изложенным консервативным правилам, судоводитель при оценке или расчете фактической дальности видимости по указанной на карте величине должен обязательно принимать во внимание все описанные особенности. Также необходимо заметить, что при планировании перехода судоводитель не имеет точных сведений о метеорологической дальности видимости, а, значит, и не может точно определить фактическую дальность видимости огней маяков. Однако по данным лоций, метеорологических прогнозов он может приблизительно оценить эти величины и позже скорректировать их, приблизив к фактическим условиям плавания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новиков В. Е. Учет динамики океана при планировании и выборе маршрута перехода судна: дис. ... канд. техн. наук / В. Е. Новиков. — СПб.: ГМА им. С. О. Макарова, 2006.
2. Мироненко А. А. Формирование маршрута судна в автоматизированных навигационных комплексах: дис. ... канд. техн. наук / А. А. Мироненко. — Новороссийск: НГМА, 2002.
3. Никулин А. Н. Теоретические основы дальности видимости объекта в атмосфере / А. Н. Никулин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. — 2010. — № 2. — С. 165–169.
4. Репин А. И. Особенности прохождения оптического излучения через атмосферу / А. И. Репин, С. К. Лебедев, Л. В. Попова // Вестник Московского государственного университета приборостроения и информатики. Серия: Приборостроение и информационные технологии. — 2010. — № 29. — С. 39–46.

5. Махоткина Е. Л. Мониторинг прозрачности атмосферы: результаты измерений за последние десятилетия (обзор) / Е. Л. Махоткина, И. Н. Плахина // Труды Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова. — 2014. — № 572. — С. 57–88.

6. Дорофеев В. В. Наклонная дальность видимости в сложных метеорологических условиях: дис. ... д-ра техн. наук / В. В. Дорофеев. — Воронеж: Гидрометеорологический научно-исследовательский центр РФ, 2007.

7. Паршуков В. А. Оценка точности вычисления рефракции в атмосфере по данным высотных метеозмерений / В. А. Паршуков // Радиотехника и электроника. — 2009. — Т. 54. — № 2. — С. 172–176.

8. Гайкович К. П. Определение атмосферной рефракции при измерениях с различными трассами луча / К. П. Гайкович, М. Б. Черняева // Известия высших учебных заведений. Радиофизика. — 2000. — Т. 43. — № 4. — С. 304–309.

9. Кривошеин В. Н. Законы распределения значений метеорологической дальности видимости / В. Н. Кривошеин // Перспективы развития информационных технологий. — 2013. — № 16. — С. 60–66.

10. Дмитриев В. И. Навигация и лоция: учебник для вузов / В. И. Дмитриев, В. Л. Григорян, В. А. Катенин. — М.: Моркнига, 2009.

FEATURES OF DETERMINE THE ACTUAL RANGE OF LIGHTS VISIBILITY BY SHOWN ON THE MAP VALUE

Various kinds of diverse concepts of “range of visibility” used for the purpose of navigation: geographical, optical, standard, nominal, meteorological, actually were given. The rules used when specifying lights visibility on nautical charts and a variety of Russian and foreign lighthouses were described. Algorithms determine the actual range of visibility of lights Russian lighthouses by shown on the map value were analyzed.. The features of these algorithms and their limitations, are not allowed in some cases to determine the actual range of visibility by shown on the map a geographical range of visibility for the eye height of 5 m. It is proposed to change the content shown on the map information regarding the range of visibility Russian lighthouses by replacing the standard and geographical ranges of visibility on nominal range of visibility proposed by IALA and used on maps and manuals for foreign lighthouses, and the inclusion of this information to the height of the lighthouse.

Keywords: lighthouses, range of visibility, nautical chart.

REFERENCES

1. Novikov, V. E. “Uchet dinamiki okeana pri planirovanii i vybore marshruta perehoda sudna.” Candidate’s Dissertation in Technical Sciences. SPb.: GMA im. S.O. Makarova, 2006.

2. Mironenko, A. A. “Formirovanie marshruta sudna v avtomatizirovannyh navigacionnyh kompleksah.” Candidate’s Dissertation in Technical Sciences. Novorossiysk: NGMA, 2002.

3. Nikulin, A. N. “Theoretical foundations of the range of visibility in the atmosphere.” *Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dalnego Vostoka* 2 (2010): 165-169.

4. Repin, A. I., S. K. Lebedev, and L. V. Popova. “Features of the optical radiation origin through the atmosphere.” *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta priborostroeniya i informatiki. Seriya: Priborostroenie i informacionnye tehnologii* 29 (2010): 39-46.

5. Mahotkina, E. L., and I. N. Plahina. “Monitoring of the atmospheric transparency: results of the measurements during last decades.” *Trudy Glavnoj geofizicheskoy observatorii im. A.I. Voejkova* 572 (2014): 57-88.

6. Dorofeev, V. V. “Naklonnaja dalnost vidimosti v slozhnyh meteorologicheskikh usloviyah.” Doctoral Dissertation in Technical Sciences. Voronezh: Gidrometeorologicheskij nauchno-issledovatel'skij centr RF, 2007.

7. Parshukov, V. A. “Ocenka tochnosti vychisleniya refrakcii v atmosfere po dannym vy-sotnyh meteozmerenij.” *Journal of Communications Technology and Electronics* 54.2 (2009): 172-176.

8. Gajkovich, K. P., and M. B. Chernyaeva. “Measurements of the atmospheric refraction using different ray paths.” *Radiophysics and Quantum Electronics* 43.4 (2000): 304-309.

9. Krivoshein, V. N. “Zakony raspredeleniya znachenij meteorologicheskoy dalnosti vidimosti.” *Perspektivy razvitija informacionnyh tehnologij* 16 (2013): 60-66.

10. Dmitriev, V. I., V. L. Grigorjan, and V. A. Katenin. *Navigacija i locija: uchebnik dlja vuzov*. M.: Morkniga, 2009.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Ермаков Сергей Владимирович – старший преподаватель. «Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота» Федерального бюджетного государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Калининградский государственный технический университет»
esv.klgd@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Ermakov Sergey Vladimirovich – Senior Lecturer. «Baltic fishing fleet state academy» of the federal state budgetary educational institution of higher professional education «Kaliningrad state technical university» (BFFSA)
esv.klgd@mail.ru

УДК 626.45

Т. Ю. Нычик

**УПРАВЛЕНИЕ РИСКОМ АВАРИЙ И ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЙ
В СУДОХОДНЫХ ШЛЮЗАХ**

Процесс управления риском охватывает различные аспекты работы: от идентификации и анализа до оценки его допустимости и определения потенциальных возможностей снижения посредством выбора, реализации и контроля соответствующих управляющих действий. В данной статье рассмотрены вопросы управления риском аварий и транспортных происшествий в судоходных шлюзах, при этом в качестве основных критериев оптимизации рассматриваются вероятность возникновения аварии и ущерб, вызванный ее реализацией. Для решения поставленной задачи был использован метод целевой функции. В результате определено, что приоритетной остается задача выделения достаточных средств для снижения вероятности возникновения аварии перед материальными затратами на устранение последствий ущерба. Предложены мероприятия, направленные на повышение безопасности судопропуска, что позволит добиться эффективного снижения риска аварий.

Ключевые слова: судоходный шлюз, риск аварии, управление риском аварии.

С ТОЧКИ зрения обеспечения безопасности плавания судов, зоны судоходных гидротехнических сооружений являются одними из наиболее сложных участков водных путей. Опыт эксплуатации судоходных шлюзов показывает, что именно ворота в головах шлюза имеют наибольшую вероятность разрушения с последующим прорывом напорного фронта гидроузла (крупнейшие аварии на Пермском шлюзе 4 ноября 1994 г., на Константиновском шлюзе 1 ноября 2004 г. и др.). Таким образом, задача обеспечения безопасности плавания судов и составов в районе судопропускных гидротехнических сооружений приобретает в настоящее время весьма актуальное значение.

Согласно ст. 8 № 117-ФЗ от 23.07.1997 г. (с изм.) «О безопасности гидротехнических сооружений» [1], обеспечение безопасности гидротехнических сооружений (ГТС) осуществляется при помощи поддержания допустимого уровня риска аварий ГТС, что предполагает его периодическую оценку и анализ. В мультипликативном подходе риск R определяется как произведение вероятности Q реализации аварии и вероятного относительного ущерба M [2]:

$$R = Q \cdot M, \quad (1)$$

где R — количественная мера (степень) риска;

Q — вероятность возникновения аварии в шлюзе (определяется на основе анализа условий эксплуатации объекта или технической системы и обработки статистических данных об авариях [3]);