

ВЛИЯНИЕ ОРИЕНТАЦИИ НАРУШЕНИЙ СПЛОШНОСТИ ЛЬДА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДВИЖЕНИЯ СУДОВ В АРКТИЧЕСКОМ БАССЕЙНЕ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

зав. лаб. С.В.ФРОЛОВ

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: svf@aari.ru

Тип ориентации разрывов в ледяном покрове относительно генерального курса движения ледокола является одной из важнейших ледовых характеристик плавания в Арктическом бассейне. Данные специальных судовых ледовых наблюдений, выполненных в морских высокоширотных экспедициях, позволили определить зоны, движение судна в которых наиболее эффективно, получить соотношения между типом ориентации разрывов и средней скоростью движения судна, временем, затраченным на работу набегами. Получена эмпирическая зависимость между шириной разрывов и специальным критерием – индексом разрыва для различных типов их ориентации по отношению к генеральному курсу движения судна. Предложены алгоритмы учета типа ориентации разрывов для расчета скорости движения судна во льдах как при автономном движении, так и для проводки судна ледоколом.

Ключевые слова: Арктический бассейн, нарушение сплошности ледяного покрова, индекс разрыва, скорость движения судна, модель движения судна во льдах.

Практика гидрометеорологического обеспечения высокоширотных плаваний в Арктическом бассейне позволила установить, что одной из важнейших ледовых характеристик условий плавания является тип ориентации нарушений сплошности ледяного покрова (НСЛ) относительно генерального курса движения ледокола. Под термином НСЛ подразумеваются разрывы, трещины, каналы в ледяном покрове. Выделено пять основных типов [Макаров, Фролов, 1997; Фролов, 1997].

Тип А – зона «ориентированных» НСЛ: преобладающая ориентация системы НСЛ и генеральный курс движения ледокола совпадают или различаются не более чем на 30°. Движение ледокола носит устойчивый характер и осуществляется в основном по НСЛ с преодолением отдельных стыков полей и неровностей кромок каналов и разводий.

Тип В – зона «неориентированных» НСЛ: степень ориентированности НСЛ невелика или преобладающая ориентация НСЛ отличается от генерального курса движения ледокола более чем на 30°. Движение ледокола в этой зоне менее устойчивое, чем в зоне типа А, и сочетает в себе плавание непосредственно по разрывам и каналам с необходимостью преодоления перемычек сплоченного льда (крупных полей и сморозей льда) при переходе из одной системы НСЛ в другую.

Тип С – зона повышенной раздробленности ледяного покрова: плавание носит устойчивый характер и осуществляется по зоне, как правило, ориентированной, с преобладанием битых форм ледяного покрова (количество ледяных полей составляет менее 5 баллов).

Тип D – зона отсутствия НСЛ: движение ледокола осуществляется в сплошном льду сплоченностью 10 баллов, преобладающие формы которого – ледяные поля. Характер движения ледокола в этой зоне определяется сочетанием «традиционных» характеристик ледяного покрова (толщины, торосистости и т.п.).

Тип E – зона пониженной сплоченности ледяного покрова: четко выраженные системы НСЛ отсутствуют, движение ледокола происходит в равномерно распределенном по акватории льду сплоченностью 8 баллов и менее. Зоны этого типа характерны для прикромочных районов.

Необходимо отметить, что наличие систем НСЛ в ледяном покрове характерно для Арктического бассейна в течение всего года. В течение летнего периода средняя ширина НСЛ меняется в широких пределах. Целесообразно рассмотреть повторяемость средней ширины НСЛ в следующих диапазонах:

– 25 м и менее – трещины, очень узкие разрывы в ледяном покрове, средняя ширина НСЛ меньше ширины судна;

– 25–50 м – узкие разводья и разрывы в ледяном покрове, средняя ширина НСЛ сопоставима с шириной судна;

– 50–100 м – средняя ширина НСЛ превышает ширину судна;

– 100–500 м – средние разводья и разрывы в ледяном покрове;

– 500–1000 м – крупные разводья, разрывы и каналы. НСЛ этого и следующего диапазона надежно идентифицируются по снимкам ИСЗ низкого и среднего разрешения;

– более 1000 м – обширные разводья и каналы значительной протяженности.

Средняя ширина НСЛ в период июль–сентябрь изменяется в соответствии с общими процессами разрушения ледяного покрова в летний период: минимальная ширина НСЛ отмечается в июле, максимальная – в августе, далее, в сентябре, наблюдается уменьшение ширины НСЛ (табл. 1). Так, в июле преобладающие значения средней ширины НСЛ не превышают 50 м (79 %). В августе около трети разрывов имеют ширину, превышающую 100 м (34 %), а количество НСЛ с шириной не более 50 м сокращается до 49 %. В сентябре количество средних и крупных НСЛ на пути плавания судов несколько сокращается (до 23 %), а НСЛ, ширина которых соизмерима с шириной ледокола или меньше ее, возрастает до 61 % (табл. 1).

Следует отметить, что количество крупных НСЛ и магистральных разрывов, уверенно идентифицирующихся по снимкам ИСЗ низкого разрешения (шириной более 500 м), на пути плавания судов в Арктическом бассейне в течение летнего периода составляет незначительное количество – 7 % в июле, 11 % в августе и 4 % в сентябре.

Наиболее широкие НСЛ характерны для зон типа А. Около 34 % пути плавания в этих зонах осуществляется по НСЛ шириной более 500 м. Это объясняется тем, что

Таблица 1

Распределение ширины НСЛ на пути плавания судов в Арктическом бассейне в летний период, %

Месяц	Ширина НСЛ, м					
	0–25	25–50	50–100	100–500	500–1000	>1000
Июль	55	24	7	7	5	2
Август	28	21	17	23	5	6
Сентябрь	22	39	16	19	3	1

Таблица 2

**Распределение ширины НСЛ различных типов в Арктическом бассейне
в летний период, %**

Тип зоны	Ширина НСЛ, м					
	0–25	25–50	50–100	100–500	500–1000	>1000
A	2	10	19	36	12	22
B	26	27	20	24	2	1
C	49	26	9	16	0	0

судоводители предпочитают максимально использовать более крупные НСЛ, ориентированные в направлении генерального курса судна. Максимальное количество НСЛ шириной не более 25 м наблюдается в зонах повышенной раздробленности (тип С), минимальное – в зонах типа А (табл. 2). Распределение ширины НСЛ в зонах «неориентированных» НСЛ (тип В) носит промежуточный характер между аналогичными распределениями зон типа А и С. Данный факт объясняется нецелесообразностью использования средних и даже крупных НСЛ в том случае, если их преобладающая ориентация значительно отличается от генерального курса движения судна. Следует отметить, что в летний период специальными судовыми наблюдениями крупные НСЛ в зонах повышенной раздробленности не зафиксированы.

Очевидно, что ширина НСЛ и их количество оказывает влияние на распределение сплоченности льда на пути плавания судна. Данные судовых специальных наблюдений убедительно показывают, что при одинаковой ширине НСЛ тип их ориентации существенно влияет на значения сплоченности льда на пути плавания судна.

Оценка количества НСЛ в состав специальных наблюдений не вошла, тем не менее полученные соотношения позволяют использовать информацию о преобладающей ширине НСЛ для оценки сплоченности льда на пути плавания. Эти зависимости в целом неплохо аппроксимируются экспоненциальной функцией:

$$- \text{ для зон типа А: } B_L = 9568,5e^{-0,5171C}; \quad (1)$$

$$- \text{ для зон типа В: } B_L = 258793e^{-0,9166C}; \quad (2)$$

где B_L – средняя ширина НСЛ (м), C – сплоченность льда на пути плавания (баллы).

Зависимость сплоченности льда от средней ширины НСЛ в зонах типа С аппроксимируется полигональной функцией:

$$B_L = 25,492^2 - 995,72C + 4743,9, \quad (3)$$

где B_L – средняя ширина НСЛ (м), C – сплоченность льда на пути плавания (баллы).

Эксплуатационная скорость движения ледокола является интегральной характеристикой системы взаимодействия лед – судно, отражающей эффективность его использования во льдах [Гордиенко и др., 1967]. Сравнение распределений скорости позволяет определить типы зон с различной ориентацией НСЛ относительно генерального курса судна, движение по которым наиболее эффективно.

Наиболее благоприятными являются зоны пониженной сплоченности (тип Е). Плавание судна в этих зонах обычно лимитируется горизонтальной видимостью. Очевидно, что наименее благоприятными для судоходства являются зоны с отсутствием НСЛ (тип D). Скорость движения судна в зонах этого типа зависит преимущественно от толщины льда, его торосистости и разрушенности (в летний период). Использование любых НСЛ, проявляющихся как в виде разрывов, каналов, трещин в ледяном

покрове, так и в виде ориентированных зон с повышенной раздробленностью льда, существенно повышает скорость движения судна при прочих равных характеристиках ледяного покрова (табл. 3–5).

Таблица 3

Распределение скорости автономного движения а/л типа «Арктика» в зонах с различной ориентацией НСЛ в Арктическом бассейне в летний период, %

Тип зоны	Скорость движения судна, узлы										
	0–2	2–4	4–6	6–8	8–10	10–12	12–14	14–16	16–18	18–20	>20
A	0	1	4	10	18	19	20	13	11	1	3
B	0	1	4	14	24	24	18	13	2	1	0
C	0	1	4	11	21	28	16	13	3	2	2
D	4	17	20	13	27	12	7	0	0	0	0

Таблица 4

Распределение скорости плавания транспортного судна типа НЭС «Академик Федоров» под проводкой а/л типа «Арктика» в зонах с различной ориентацией НСЛ в Арктическом бассейне в летний период, %

Тип зоны	Скорость движения каравана, узлы										
	0–2	2–4	4–6	6–8	8–10	10–12	12–14	14–16	16–18	18–20	>20
A	0	3	3	11	31	32	16	3	1	0	0
B	0	3	9	24	36	21	6	0	0	0	0
C	0	2	7	16	30	36	6	3	0	0	0
D	5	13	19	25	27	10	0	0	0	0	0

Таблица 5

Распределение скорости автономного плавания транспортного судна типа НЭС «Академик Федоров» в зонах с различной ориентацией НСЛ в Арктическом бассейне в летний период, %

Тип зоны	Скорость движения каравана, узлы										
	0–2	2–4	4–6	6–8	8–10	10–12	12–14	14–16	16–18	18–20	>20
A	1	6	15	33	25	18	2	0	0	0	0
B	7	15	39	24	9	7	0	0	0	0	0
C	3	13	24	27	24	8	0	0	0	0	0
D	44	26	5	8	17	0	0	0	0	0	0

Данные специальных судовых ледовых наблюдений убедительно показывают, что эффективность использования судами зон с различным типом ориентации НСЛ зависит от мощности СЭУ: чем больше мощность СЭУ, тем меньше влияние ориентации НСЛ на скорость движения (табл. 6). Использование НСЛ повышает скорость автономного плавания атомного ледокола типа «Арктика» в среднем на 51–66 %, а автономного плавания транспортного судна типа «Академик Федоров» – на 60–123 %.

Анализ данных, представленных в таблицах 3–6, позволяет установить, что из зон с наличием НСЛ наиболее благоприятными для эффективного движения судов являются зоны типа А, когда ориентация НСЛ совпадает с генеральным курсом плавания. Использование зон этого типа повышает скорость автономного плавания атомного ледокола типа «Арктика» в среднем на 4,7 узла, скорость проводки ледоколом транспортного судна – на 3,3 узла, а автономного плавания судна типа НЭС

Таблица 6

Характеристики эффективности движения судов в зонах с различной ориентацией НСЛ в Арктическом бассейне в летний период

Тип зоны	А/л типа «Арктика» (автономно)			А/л типа «Арктика» и НЭС «Академик Федоров»			НЭС «Академик Федоров» (автономно)		
	V_{cp} , узлы	$L (<6)$, %	$L (>10)$, %	V_{cp} , узлы	$L (<6)$, %	$L (>10)$, %	V_{cp} , узлы	$L (<6)$, %	$L (>10)$, %
A	11,8	4,9	66,6	10,0	5,8	52,2	7,8	21,3	20,4
B	10,7	5,2	56,9	8,6	12,4	27,4	5,6	60,9	6,5
C	11,2	4,6	63,9	9,4	9,8	44,9	6,6	40,3	8,3
D	7,1	40,7	18,9	6,7	37,3	10,0	3,5	75,5	0,0

Примечание: V_{cp} – средняя скорость движения в зоне, $L (<6)$ – относительная протяженность пути плавания со скоростью 6 узлов и менее, $L (>10)$ – относительная протяженность пути плавания со скоростью более 10 узлов.

«Академик Федоров» – на 4,3 узла (в 2,2 раза). При этом как при автономном плавании ледокола, так и при проводке им судна более половины пути суда движутся со скоростью, превышающей 10 узлов (табл. 6).

Несколько менее благоприятным, но все же достаточно эффективным является использование ориентированных зон с повышенной раздробленностью ледяного покрова (тип С). Однако если эксплуатационные показатели автономного движения атомного ледокола и проводки им транспортного судна в зонах этого типа близки к показателям движения в зонах типа А, то показатели автономного плавания судна типа НЭС «Академик Федоров» в зонах типа С существенно уступают показателям плавания в зонах типа А. Относительная протяженность пути судна со скоростью более 10 узлов в зонах повышенной раздробленности сокращается до 8 %, а со скоростью 6 узлов и менее увеличивается до 40 %.

Наименее благоприятными из зон с наличием НСЛ являются зоны, ориентация НСЛ в которых не совпадает с генеральным курсом плавания судна или система НСЛ не имеет четко выраженной ориентации (тип В). Движение судов в зонах этого типа отличается наименьшими средними скоростями, наименьшей протяженностью плавания со скоростью более 10 узлов и наибольшей – со скоростью 6 узлов и менее (см. табл. 6).

Другим важным показателем трудности плавания является вероятность работы судна набегами. Для ее оценки используется значение относительного количества набегов (количество набегов на 100 миль пути). Средние значения этого параметра для различных типов зон представлены в табл. 7. Использование НСЛ при движении судов во льдах Арктического бассейна резко сокращает вероятность работы набегами. Вместе с тем значение этого показателя зависит от мощности СЭУ.

Таблица 7

Относительное количество набегов в зонах с различной ориентацией НСЛ (количество набегов на 100 миль пути)

Тип зоны	А/л типа «Арктика» (автономно)	НЭС «Академик Федоров» (автономно)
A	4,3	7,5
B	4,9	40,7
C	4,7	30,2
D	83,4	266,8

Данные, представленные в табл. 7, показывают, что наиболее равномерное движение судов во льдах с наличием НСЛ характерно для плавания в зонах типа А. Вероятность работы набегами максимальна при движении судов в зонах типа В. Это связано с необходимостью преодоления сжатых стыков ледяных полей, тяжелых перемычек льда при переходе судна между разрывами и трещинами в ледяном покрове.

Отмеченные особенности плавания с использованием НСЛ могут и должны учитываться при планировании конкретной морской операции.

При планировании морских операций во льдах Арктического бассейна в числе прочих подготовительных мероприятий оценивается фактическое и прогностическое распределение ледяного покрова в районе плавания по данным спутниковых снимков, с помощью которых можно получить информацию об общей сплоченности льда, его возрастном составе (что эквивалентно грубой оценке распределения толщины), преобладающих размерах льдин, торосистости, разрушенности, а также наличии и ориентации разрывов. В принципе этого достаточно для того, чтобы оценить ожидаемую скорость движения ледокола заданного типа или стандартного каравана. Для этого можно использовать эмпирико-статистическую модель оценки трудности плавания судов во льдах [Бузуев, 1982]. В методических указаниях по использованию эмпирико-статистической модели движения судна во льдах предложен способ учета самого факта наличия разрывов путем введения дополнительного коэффициента, зависящего только от одного типа ледокола (атомного ледокола типа «Арктика») и каравана, состоящего из указанного типа ледокола и одного судна типа СА-15. Причем величина этого коэффициента одинакова как для автономного движения ледокола, так и для каравана и равна 1,11.

В то же время, как показано выше, необходимо учитывать не только и не столько наличие, сколько преобладающую ориентацию разрывов. В противном случае расчет скорости движения неизбежно будет содержать существенные ошибки.

Учет влияния НСЛ, а также их преобладающей ориентации на скорость плавания можно двумя способами.

Первый способ заключается в оценке ледовых условий на предполагаемом пути плавания судов, он включает:

- оценку стандартного комплекса характеристик ледяного покрова в районе предполагаемого плавания по данным снимков ИСЗ, авиационной ледовой разведки или результатам расчетов;

- определение типов зон НСЛ, а также их протяженности;

- оценку преобладающей ширины НСЛ в зонах с различным типом ориентации НСЛ относительно генерального курса движения судна;

- преобразование значений общей сплоченности льда, зафиксированной в районе плавания, в значения сплоченности на пути движения судов с учетом ориентации НСЛ, используя (1–3);

- расчет скорости движения судна или каравана судов с помощью эмпирико-статистической модели движения судна во льдах (или какой-либо иной модели движения судна во льдах). При расчетах используются «преобразованные» значения общей сплоченности льда с учетом преобладающей ширины и ориентации НСЛ.

Второй способ основан на использовании критерия, предложенного в [Liljeström, 1994]. Этот критерий, позволяющий оценить эффективность использования НСЛ и названный «lead index» (индекс НСЛ), определяет время, затраченное на плавание судна по чистой воде и начальным (молодым) льдам при использовании НСЛ.

Индекс НСЛ определяется в тех случаях, когда судно движется по чистой воде или оба борта судна не контактируют со льдом толще 20 см. Индекс рассчитывается как отношение времени плавания по чистой воде или начальным (молодым) льдам к общему времени плавания в однородной ледовой зоне:

$$I_{\text{НСЛ}} = T_{\text{НСЛ}}/T_{\text{об}}, \quad (4)$$

где: $I_{\text{НСЛ}}$ – индекс НСЛ, $T_{\text{НСЛ}}$ – общее время движения судна в однородной ледовой зоне, $T_{\text{об}}$ – время движения судна по чистой воде или начальным (молодым) льдам.

Специальные судовые ледовые наблюдения, выполненные в ходе высокоширотных морских экспедиций в 2000–2008 гг., позволили определить значения этого индекса для зон с различным типом ориентации НСЛ. Наблюдения выполнялись во время автономного плавания НЭС «Академик Федоров» и при его проводке атомным ледоколом типа «Арктика».

Таблица 8

Средние значения индекса НСЛ для типовых зон

Тип зоны	А/л типа «Арктика» и НЭС «Академик Федоров»	НЭС «Академик Федоров» (автономно)
А	0,41	0,40
В	0,10	0,19
С	0,07	0,07

Средние значения индекса НСЛ, представленные в табл. 8, показывают, что при использовании зон типа А, около 40 % пути суда движется практически по чистой воде или молодым льдам. Различия в значениях индекса НСЛ при автономном плавании транспортного судна и при его проводке атомным ледоколом в зонах типа В объясняются более избирательным характером автономного движения судна вследствие меньшей мощности судовой энергетической установки.

Очевидно, что значение индекса зависит от ширины НСЛ и их протяженности.

Зависимость индекса от ширины НСЛ в целом неплохо аппроксимируется логарифмической функцией. При движении каравана в составе а/л типа «Арктика» и НЭС «Академик Федоров» получены следующие зависимости:

$$\text{– для зон типа А: } I_{\text{НСЛ}} = 0,1805\ln(B) - 0,4737; \quad (5)$$

$$\text{– для зон типа В: } I_{\text{НСЛ}} = 0,1067\ln(B) - 0,3434; \quad (6)$$

$$\text{– для зон типа С: } I_{\text{НСЛ}} = 0,095\ln(B) - 0,03095, \quad (7)$$

где $I_{\text{НСЛ}}$ – индекс НСЛ, B – ширина НСЛ, м.

Эти же зависимости представлены графически на рис. 1–3.

Для автономного движения НЭС «Академик Федоров» соответствующие аппроксимирующие функции выглядят следующим образом:

$$\text{– для зон типа А: } I_{\text{НСЛ}} = 0,2319\ln(B) - 0,6807; \quad (8),$$

$$\text{– для зон типа В: } I_{\text{НСЛ}} = 0,1589\ln(B) - 0,4917; \quad (9),$$

$$\text{– для зон типа С: } I_{\text{НСЛ}} = 0,1302\ln(B) - 0,4402. \quad (10).$$

Необходимо отметить, что аппроксимация произведена для НСЛ шириной не менее 25 м (то есть более ширины судна и ледокола), потому что для НСЛ с меньшей шириной индекс НСЛ равен нулю.

По известному распределению характеристик ледяного покрова в районе плавания выделяются зоны с различным типом ориентации разрывов, а также оцениваются

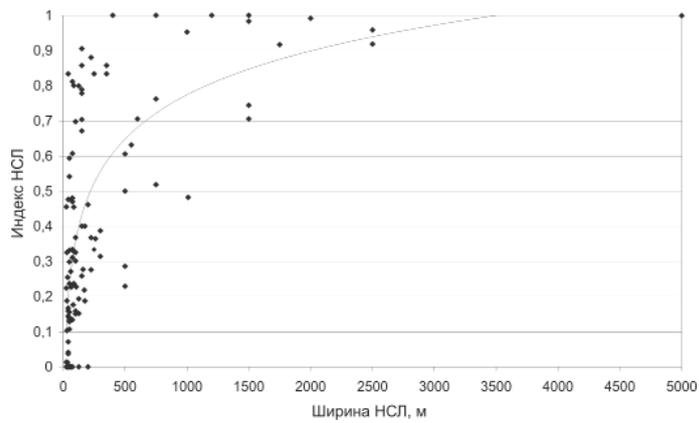


Рис. 1. Зависимость индекса НСЛ от их ширины в зонах типа А при движении каравана в составе а/л типа «Арктика» и НЭС «Академик Федоров».

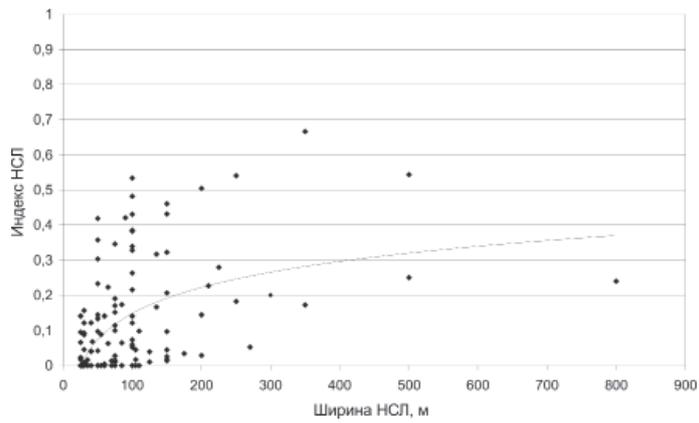


Рис. 2. Зависимость индекса НСЛ от их ширины в зонах типа В при движении каравана в составе а/л типа «Арктика» и НЭС «Академик Федоров».

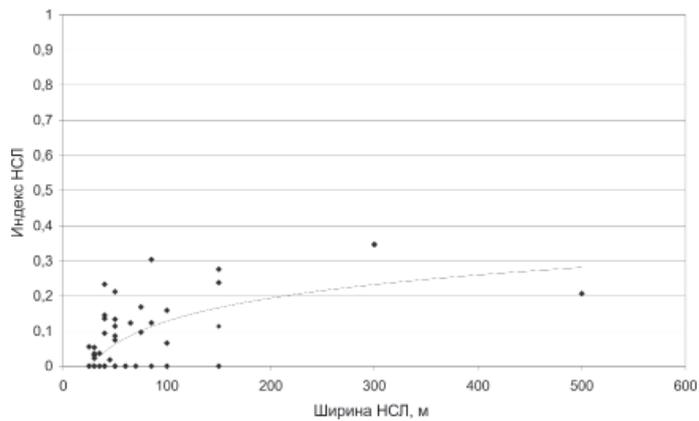


Рис. 3. Зависимость индекса НСЛ от их ширины в зонах типа С при движении каравана в составе а/л типа «Арктика» и НЭС «Академик Федоров».

их протяженности. Затем с помощью соотношений (5)–(10) определяется индекс НСЛ зон каждого типа.

Далее с помощью эмпирико-статистической модели (или любой иной модели движения судна во льдах) оценивается скорость движения V_D в зоне, где вообще нет разрывов (тип D), а также скорость движения непосредственно в разрыве $V_{НСЛ}$ (по чистой воде или молодым льдам). Расчет значений скорости V_D осуществляется с учетом всех характеристик ледяного покрова, зафиксированных на ледовой карте (количества льдов различного возраста, толщины льда, торосистости, разрушенности, форм льда и т.п.).

Оценка скорости движения в зонах с отчетливо выраженной структурой НСЛ (тип А и тип В), а также в зонах повышенной раздробленности ледяного покрова (тип С) выполняется с использованием индекса НСЛ каждой из этих зон. Поскольку в зонах типа А, В и С часть времени судно движется по ледяному покрову, в котором отсутствуют НСЛ, что аналогично типу D, а часть – непосредственно по разрыву, то средняя скорость движения в этих типах зон определяется как средневзвешенная величина [Frolov, Klyachkin, 1999]:

$$V_A = V_D(1 - I_{НСЛ(A)}) + V_0 I_{НСЛ(A)}; \quad (11)$$

$$V_B = V_D(1 - I_{НСЛ(B)}) + V_0 I_{НСЛ(B)}; \quad (12)$$

$$V_C = V_D(1 - I_{НСЛ(C)}) + V_0 I_{НСЛ(C)}; \quad (13)$$

где V_A, V_B, V_C, V_D – средние скорости движения судна в зонах различного типа; V_0 – скорость движения судна по чистой воде или молодым льдам; $I_{НСЛ(A, B, C)}$ – индекс НСЛ зоны соответствующего типа.

Практика плавания в зонах с наличием НСЛ позволила установить, что скорость движения судов по чистой воде или начальным (молодым) льдам существенно меньше значений эксплуатационной скорости, применяемой в эмпирико-статистической модели ААНИИ. Это связано в первую очередь с тем, что при движении по НСЛ судоводители ограничивают скорость судна для уменьшения нагрузок на его корпус при соприкосновении с кромками разрывов или при предстоящем преодолении ледовых перемычек между НСЛ (табл. 9).

Таблица 9

Средние значения эксплуатационной скорости движения судов по чистой воде или начальным (молодым льдам) при использовании НСЛ, узлы

Суда	Эмпирико-статистическая модель ААНИИ	Тип зоны			
		А		В	С
		Ширина НСЛ больше 1000 м	Ширина НСЛ меньше 1000 м		
А/л типа «Арктика» – НЭС «Академик Федоров»	15,0	11,6	10,0	9,1	9,0
НЭС «Академик Федоров» (автономно)	15,0	9,7	9,1	6,0	5,9

Этот алгоритм был применен для расчета скорости движения судов по данным экспедиций «Арктика-2000» (для автономного плавания НЭС «Академик Федоров») и «Арктика-2004» (для каравана в составе а/л типа «Арктика» и НЭС «Академик Федоров»). Средние скорости движения судов, рассчитанные для каждого типа зон

по предложенному алгоритму, более соответствуют фактическим, чем скорости, рассчитанные с использованием алгоритма, заложенного в эмпирико-аналитической модели (табл. 10).

Таблица 10

Расчетные и фактические скорости движения судов для зон с различным типом ориентации НСЛ

Суда	Тип зоны	$V_{\text{фз}}$, узлы	V_M , узлы	E_M , %	V_A , узлы	E_A , %
А/Л типа «Арктика» + НЭС «Академик Федоров»	A	9,3	7,4	-20,4	8,8	-5,4
	B	8,3	6,7	-19,3	8,5	2,4
	C	8,2	6,8	-17,1	7,7	-6,1
НЭС «Академик Федоров» (автономно)	A	6,9	5,7	-17,4	6,7	-2,9
	B	5,2	4,5	-13,5	5,5	5,8
	C	5,1	4,6	-9,8	4,7	-7,8

Примечание: $V_{\text{ф}}$ – фактическая эксплуатационная скорость; V_M – эксплуатационная скорость, рассчитанная по алгоритму эмпирико-статистической модели; V_A – эксплуатационная скорость, рассчитанная с использованием предложенного алгоритма; E_M – средняя ошибка расчета по алгоритму эмпирико-статистической модели; E_A – средняя ошибка расчета по предложенному алгоритму

Материалы наблюдений, полученные в ходе высокоширотных экспедиций, подтвердили тезис о необходимости учета ориентации НСЛ при расчете скорости движения судна во льдах. Разработанный алгоритм с использованием индекса НСЛ позволяет произвести этот расчет более качественно. Однако наибольшая трудность заключается в априорной оценке индекса НСЛ. Дело в том, что по снимку ИСЗ можно идентифицировать нарушения сплошности ледяного покрова, размеры которых больше или равны разрешающей способности данного снимка. Зачастую крупный разрыв или разводье в ледяном покрове, различимый на снимке, представляет из себя множество разрывов меньших размеров, расположенных близко друг от друга [Горбунов и др., 2008]. Если информация высокого разрешения является доступной, то можно непосредственно по снимку оценить статистические характеристики ансамбля мелких разрывов и по ним достаточно уверенно определить индекс НСЛ конкретных участков выбранного маршрута плавания. Существенную помощь в оценке значений индекса НСЛ могут оказать данные авиационной ледовой разведки, предоставляющие необходимые сведения о типе НСЛ, их преобладающей ширине и других параметрах ледяного покрова на выбранном маршруте плавания.

При наличии информации среднего или низкого разрешения возникает задача поиска соответствия между характеристиками крупного разрыва, видимого на снимке, и статистическими характеристиками системы мелких разрывов, которые в действительности формируют этот видимый крупный разрыв. Однако решение этой задачи требует постановки и проведения соответствующего подспутникового эксперимента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бузиев А.Я. Влияние природных условий на судоходство в замерзающих морях. Л.: Гидрометеоиздат, 1982. 200 с.

Горбунов Ю.А., Дымент Л.Н., Лосев С.М., Фролов С.В. Среднесрочные прогнозы крупных нарушений сплошности льда при гидрометеорологическом обеспечении мореплавания в Арктическом бассейне // Метеорология и гидрология. 2008. № 9. С. 78–86.

Гордиенко П.А., Бузуев А.Я., Сергеев Г.Н. Изучение ледяного покрова моря как среды судоходства // Проблемы Арктики и Антарктики. 1967. Вып. 27. С. 93–104.

Макаров Е.И., Фролов С.В. Проблема специализированного гидрометеорологического обеспечения высокоширотного судоходства во льдах Арктики и реалии ее решения // Проблемы Арктики и Антарктики. 1997. № 71. С. 129–147.

Фролов С.В. Основные закономерности распределения характеристик ледяного покрова и их влияние на движение ледокола в Арктическом бассейне в летний период (по данным высокоширотных плаваний) // Труды ААНИИ. 1997. Т. 437. С. 83–98.

Frolov S.V., Klyachkin S.V. The Influence Of Leads Orientation Relative To The General Ship (Icebreaker) Course Upon The Speed And Efficiency Of Ice Navigation // Proceedings of POAC'99, 15th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Condition, Helsinki, Finland. Vol. 1. P. 561–567.

Liljestrom G. Trafficability Data from the 1991 International Arctic Ocean Expedition // Proceedings of ICETECH'94. Calgary, 1994. P. R11–R18.

S.V.FROLOV

**ORIENTATION OF THE LEADS AND CRACKS IN THE ICE COVER
RELATIVELY TO DIRECTION OF THE SHIP MOVEMENT IS THE MOST
IMPORTANT CHARACTERISTIC OF ICE NAVIGATION
IN THE ARCTIC BASIN**

Data of special shipborne observations, carried out in high-latitudinal expeditions, allowed to determine areas of most effective ship movement and allowed to calculate relations between orientation of the leads and cracks and average ship speed, and time when ship stuck. The empirical relation between width of leads and special criteria – lead index – for different types of the leads orientation relatively to the general ship direction was obtained. The algorithms of calculation the ship speed in ice, depending on the type of leads orientation, as for autonomic movement as for the ship assisted by icebreaker were developed.

Keywords: Arctic Basin, leads and cracks, lead index, ship speed, model of ship navigation in ice.