ВЕСТНИК
ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
МОРСКОГО И РЕЧНОГО ФЛОТА ИМЕНИ АДМИРАЛА С. О. МАКАРОВА

**DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-1-15-31**

# RECOMMENDATIONS ON VESSELS COUPLING IN CASE OF EMERGENCIES IN POLAR WATERS

**P. I. Petukhov**

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

*The ways of implementing international regulations in force since 2017 are considered in the paper. The main one is the receipt by the vessel of a Certificate of a polar navigation vessel, which is impossible without the availability of special documentation — Instructions for the operation of vessels in polar waters. The current international acts contain instructions for the development of such Manuals with detailed requirements for each section. Thus, according to the instructions in chapter 3 of the Instructions on interaction with Rescue and Search services, it is recommended to provide procedures for preparing for the voyage and for actions in emergency situations. The approaches for the development of recommendations for the safety of various types of vessels navigating in polar waters, including the analysis of various coupling options that can be implemented in polar navigation conditions, are elaborated in the paper. The various coupling options: in an ice caravan, in shallow ice, the creation of a rigid coupling (an option in which all possible mooring devices are brought between vessels), are proposed. The results of the study can significantly improve the safety of navigation in ice conditions, and can also form the basis for the development of operating instructions in polar waters and be adapted for practical use for various types of vessels.*

*Keywords: International Polar Code, ice navigation of vessels, methods for reducing the risk, of ice damage to ships.*

**For citation:**
Petuhov, Pavel I. "Recommendations on vessels coupling in case of emergencies in polar waters." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 15.1 (2023): 15–31. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-1-15-31.

**УДК 656.61.052**

# РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОЗДАНИЮ СЦЕПКИ ДЛЯ СУДОВ, СОВЕРШАЮЩИХ ПЛАВАНИЕ В ПОЛЯРНЫХ ВОДАХ, ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

**П. И. Петухов**

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

*Статья посвящена разработке рекомендаций для судов, совершающих плавание в полярных водах, при возникновении чрезвычайных ситуаций, а также способам реализации международных предписаний, действующих с 2017 г., главным из которых является «Свидетельство судна полярного плавания». Получение такого свидетельства невозможно без наличия специальной документации, такой как «Наставления по эксплуатации судов в полярных водах». Отмечается, что действующие международные акты содержат инструкции по разработке таких документов с перечнем подробных требований к каждому разделу. Так, согласно инструкциям, которые включены в гл. 3 Наставлений о взаимодействии со спасательными и поисковыми службами, рекомендуется предусмотреть процедуры по подготовке к рейсу и выполнению необходимых действий в аварийных ситуациях. В статье исследованы подходы для разработки рекомендаций по обеспечению безопасности различных типов судов, осуществляющих плавание в полярных водах, в том числе проанализированы различные варианты сцепки, которые могут применяться в условиях полярного плавания. Предложены следующие варианты сцепки: в ледовом караване, в мелкобитом льду, варианты физического взаимодействия, такие как подход под прямым углом к аварийному судну, подход лагом к аварийному судну одного или нескольких судов, создание так называемой «жесткой» сцепки — тот вариант, когда между судами заводятся все возможные швартовные устройства: пропиленовые, нейлоновые концы,*

*стальные тросы, которые должны быть надежно закреплены на аварийном судне и подошедших к нему поддерживающих судах. Результаты исследования позволяют существенно повысить безопасность плавания в ледовых условиях, а также могут лечь в основу разработки наставлений по эксплуатации в полярных водах и быть адаптированы к практическому применению для различных типов судов.*

*Ключевые слова: Международный полярный кодекс, ледовое плавание судов, методы снижения опасности, ледовые повреждения судов.*

**Для цитирования:**
*Петухов П. И.* Рекомендации по созданию сцепки для судов, совершающих плавание в полярных водах, при возникновении чрезвычайных ситуаций / П. И. Петухов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2023. — Т. 15. — № 1. — С. 15–31. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-1-15-31.

## Введение (Introduction)

Северный морской путь, воды Арктики и Антарктики приобретают все большее значение для мирового судоходства, о чем свидетельствует интерес исследователей к разработке вопросов данной проблематики, а также множество нормативных документов, регламентирующих особенности осуществления судами плавания в рассматриваемых условиях. Так, мореплавание по северным и южным широтам выше 60 параллели должно удовлетворять всем основным конвенциям и в дополнение к ним международное судоходство начиная с 2017 г. осуществляется в соответствии с «Международным кодексом для судов, эксплуатируемых в полярных водах» (далее — МПК). Обязательное соблюдение требований МПК предусмотрено двумя конвенциями: СОЛАС-74 и МАРПОЛ 73/78 [1], [2]. При этом МПК требует разработки для каждого судна, эксплуатируемого в полярных водах, специального «Наставления по эксплуатации судов в полярных водах» (далее — НЭПВ).

Плавание в акватории Северного морского пути (СМП) должно осуществляться согласно требованиям, установленным в Приказе № 7 Министерства транспорта РФ от 17.01.2013 г. [3]. Администрация СМП выдает разрешение на плавание судов, в том числе на основании «Свидетельства судна полярного плавания» и «Наставлений по эксплуатации судов, эксплуатируемых в полярных водах» (НЭПВ). Данные документы проверяются службами инспекции государственного портового контроля на предмет соответствия требованиям МПК [4].

В современных условиях возникает потребность включения вариантов физического взаимодействия между судами путем создания сцепки — подхода к аварийному судну [5]–[7], швартовки между судами с целью разработки рекомендаций для судов, совершающих плавание в полярных водах, в случае возникновения чрезвычайных ситуаций [8], а также должно быть заложено (выделить красным для автора) в основу разработки НЭПВ для выполнения главной цели МПК — *безопасного плавания в полярных водах* [9]. Анализ специальной литературы показывает, что современными исследователями осознана значимость данного вопроса, что подтверждается имеющимися публикациями, в которых рассматриваются вопросы обеспечения экологической безопасности [10]–[12], а также обеспечения безопасного мореплавания [13], [14].

В настоящее время в специальной научной литературе такие вопросы, как создание вариантов физического взаимодействия между судами путем создания сцепки — подхода к аварийному судну, швартовки между судами, полярного плавания рассмотрены недостаточно. Так, в работе [15] рассмотрены основные принципы взаимодействия между судами в отношении действий, предпринимаемых в чрезвычайных ситуациях в ледовых условиях [16]. Однако в настоящее время подготовка к рейсу весьма типовая, при этом действия в аварийных ситуациях требуют более подробного рассмотрения и исследования вариантов сцепки в ледовых условиях.

*Цель исследования* — разработать рекомендации по созданию сцепки для судов при возникновении чрезвычайной ситуации в условиях плавания в полярных водах.

*Задачи исследования:*

1. Осуществить расчет эффективного способа обеспечения безопасности в аварийных случаях при повреждении корпуса судна в полярных водах.

2. Исследовать различные варианты взаимодействия и сцепки судов в случаях повреждений корпуса в разных условиях ледового плавания.

3. Разработать рекомендации по созданию сцепки для судов при возникновении чрезвычайной ситуации в условиях плавания в полярных водах.

## Методы и материалы (Methods and materials)

Проведенное исследование включает численные методы расчета параметров движения судна в полярных водах и действий в аварийных ситуациях с учетом влияния других судов с использованием математического моделирования. НЭПВ предусмотрены действия судов в чрезвычайных ситуациях. Одним из вариантов взаимодействия между судами является физическое взаимодействие, которое можно условно обозначить как *сцепка судов*. В предлагаемой статье рассматриваются варианты сцепки в различных условиях плавания.

В качестве теоретической базы может использоваться следующая формулировка: *сохранение устойчивости аварийного судна в случае аварии и наличия вблизи иных коммерческих либо спасательных судов может осуществляться посредством создания сцепки с аварийным судном*. При создании сцепки следует предусмотреть *кранцевую защиту* для предотвращения получения повреждений корпуса поддерживающего судна. Такая сцепка может быть *жесткой* в случае, когда используются специальные сцепные устройства, или *гибкой*, когда применяются швартовные тросы [16]. При любом варианте сцепки возникает дополнительный восстанавливающий момент (далее — ДВМ), который по величине может быть различным в зависимости от того, как расположены суда после «карамболажа» и какие действия осуществляет поддерживающее судно.

Рассчитаем минимальную величину ДВМ под прямым углом к аварийному судну (рис. 1). Суммарный восстанавливающий момент (далее — СВМ) $M_{в\sum а}$ при расположении поддерживающего судна под прямым углом (рис. 1) можно рассчитать по формуле

$$M_{в\sum а} = M_{в.а} + M_{в.п} = P_а h_{1а} \sin\theta_а + P_п H_п \sin\psi_п, \quad (1)$$

где $h_{1а}$ — поперечная метацентрическая высота аварийного судна после начала поступления воды через пробоину, м;

$M_{в.а}$ — поперечный восстанавливающий момент аварийного судна после начала поступления воды через пробоину;

$M_{в.п}$ — продольный восстанавливающий момент поддерживающего судна;

$P_а$ — весовое водоизмещение аварийного судна, кН;

$\theta_а$ — угол крена аварийного судна, град.;

$P_п$ — весовое водоизмещение поддерживающего судна, кН;

$H_п$ — продольная метацентрическая высота ледокола, м;

$\psi_п$ — угол дифферента поддерживающего судна, град. [6].

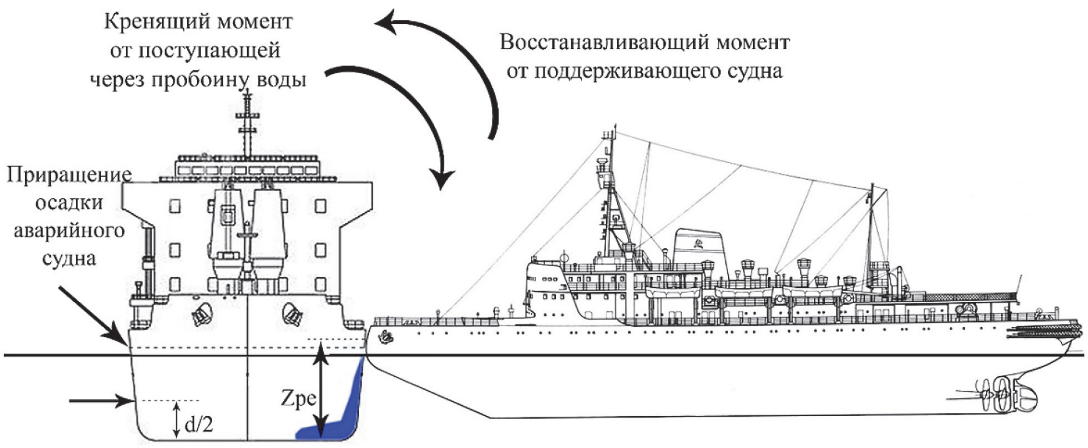


*Рис. 1.* Возникновение дополнительного восстанавливающего момента

Для того чтобы обеспечить сцепку судов, можно воспользоваться работой гребного винта поддерживающего судна на упор в направлении аварийного судна. В таком случае ДВМ возникает на корпусе аварийного судна, величину которого можно рассчитать по формуле

$$M_{\text{ВГВП}} = P_e\left(z_{Pe} - z_{\text{г}}\right)\cos\theta_{\text{а}}, \tag{2}$$

где $P_e$ — тяга гребного винта поддерживающего судна, кН;

$z_{Pe}$ — точка приложения силы от работы гребного винта поддерживающего судна на корпусе аварийного судна, м;

$z_{\text{г}}$ — координата равнодействующей приложения гидродинамических сил на корпусе аварийного судна, м;

$\theta_{\text{а}}$ — угол крена аварийного судна, град.

Рассмотренные виды сцепки показывают возможность получения СВМ на аварийном судне при различных вариантах. СВМ при расположении поддерживающего судна под прямым углом и работе его гребного винта в упор в направлении аварийного судна можно рассчитать по формуле

$$M_{\text{в}\sum\text{а}} = P_{\text{а}}h_{1\text{а}}\sin\theta_{\text{а}} + P_{\text{п}}H_{\text{п}}\sin\psi_{\text{п}} + P_e\left(z_{Pe} - z_{\text{г}}\right)\cos\theta_{\text{а}}, \tag{3}$$

Согласно расчетам, выполняемым по формулам (1)–(3), видно, что каждый вариант сцепки имеет свои положительные стороны при различных ледовых повреждениях судна, поскольку многократно увеличивает на аварийном судне восстанавливающий момент для устранения возможности его опрокидывания [11]. Расчеты позволили выявить такой наиболее эффективный способ обеспечения безопасности в аварийных случаях при повреждении корпуса судна в полярных водах, как *комбинирование действий по перекачке жидкости и извлечению пробоины судна из воды*, а также рассматриваемый в данной статье способ *дальнейшей сцепки судов с поврежденным судном* [8], [15]. Согласно рассмотренным вариантам для каждого типа судна, можно предусмотреть необходимые меры, соответствующие предписаниям к НЭПВ, при взаимодействии со спасателями и иными судами в аварийных ситуациях.

В результате выполненных расчетов судам, совершающим плавание в полярных водах, могут быть рекомендованы такие необходимые действия при возникновении аварийной ситуации, как создание сцепки с другими судами и извлечение пробоины из воды.

Рассмотрим варианты взаимодействия и сцепки судов в случае повреждений корпуса в различных условиях ледового плавания.

**1-й вариант — взаимодействие при повреждениях корпуса судна в ледовом караване.**

Наиболее характерные ситуации.

1. *Повреждение получает судно, следующее за ледоколом в ледовом караване в относительно узком ледовом канале; ход аварийного судна относительно воды сохранен.*

Судно, следующее за поврежденным судном, швартуется к его корпусу для осуществления сцепки (рис. 2). На судах в месте сцепки устанавливается дополнительная кранцевая защита. Суммарный восстанавливающий момент на аварийном судне после обеспечения сцепки может быть определен по формуле

$$M_{\text{в}\sum\text{а}} = P_{\text{а}}h_{1\text{а}}\sin\theta_{\text{а}} + P_{\text{л}}h_{\text{л}}\sin\theta_{\text{л}} + P_{\text{п}}h_{\text{п}}\sin\theta_{\text{п}}, \tag{4}$$

где $h_{1\text{а}}$ — поперечная метацентрическая высота аварийного судна после начала поступления воды через пробоину, м;

$P_{\text{а}}$ — весовое водоизмещение аварийного судна, кН;

$\theta_{\text{а}}$ — угол крена аварийного судна, град;

$P_{\text{л}}$ — весовое водоизмещение ледокола, кН;

$h_{\text{л}}$ — поперечная метацентрическая высота ледокола, м;

$\theta_{\text{л}}$ — угол крена ледокола, град;

$P_{\text{п}}$ — весовое водоизмещение поддерживающего судна, следовавшего в караване за аварийным судном, кН;

$h_п$ — поперечная метацентрическая высота поддерживающего судна, следовавшего в караване за аварийным судном, м;

$\theta_п$ — угол крена поддерживающего судна, следовавшего в караване за аварийным судном, град.

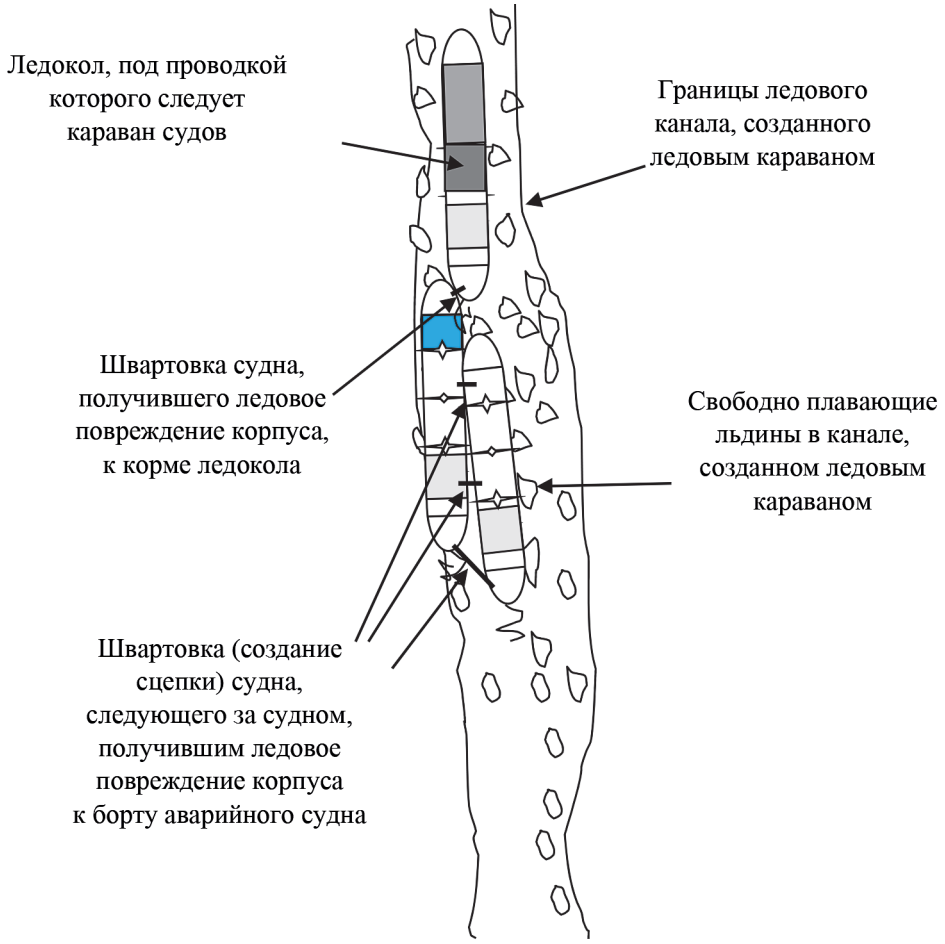


*Рис. 2.* Швартовка ледокола к поврежденному судну

Следовательно, СВМ на поврежденном судне после обеспечения сцепки увеличивается за счет остойчивости и сцепки аварийного судна с ледоколом и поддерживающим судном (4).

2. *Повреждение получает судно, следующее за ледоколом в караване в относительно узком ледовом канале; ход аварийного судна относительно воды потерян.*

Судно, следующее за поврежденным судном, швартуется к его корпусу для осуществления сцепки (рис. 3). На корпус поврежденного суда давят ледокол и поддерживающее судно. На судах в месте сцепки устанавливается дополнительная кранцевая защита.

ДВМ на аварийном судне после создания сцепки может быть определен по формуле

$$M_{в\sum а} = P_а h_{1а} \sin\theta_а + P_л h_л \sin\theta_а + P_п h_п \sin\theta_а + P_л H_л \sin\psi_а + P_п H_п \sin\psi_а + \\ + P_{ел}\left(zP_л - z_л\right)\cos\theta_а \cdot d\text{К}_{а.л} + P_{еп}\left(zP_п - z_л\right)\cos\theta_а \cdot d\text{К}_{а.п}, \quad (5)$$

где $h_{1а}$ — поперечная метацентрическая высота аварийного судна после начала поступления воды через пробоину, м;

$P_а$ — весовое водоизмещение аварийного судна, кН;

$\theta_а$ — угол крена аварийного судна, град.;

$\psi_а$ — угол дифферента аварийного судна, град.;

$P_л$ — весовое водоизмещение ледокола, кН;

$h_л$ — поперечная метацентрическая высота ледокола, м;

$P_п$ — весовое водоизмещение ледокола, кН;

$h_п$ — поперечная метацентрическая высота поддерживающего судна, следовавшего в караване за аварийным судном, м;

$P_п$ — весовое водоизмещение поддерживающего судна, следовавшего в караване за аварийным судном, кН;

$H_п$ — продольная метацентрическая высота поддерживающего судна, следовавшего в караване за аварийным судном, м;

$H_л$ — продольная метацентрическая высота ледокола м;

$P_{ел}$ — тяга гребного винта ледокола, кН;

$zP_л$ — точка приложения силы от работы ледокола на корпусе аварийного судна, м;

$P_{еп}$ — тяга гребного винта поддерживающего судна, кН;

$zP_п$ — точка приложения силы от работы гребного винта поддерживающего судна на корпусе аварийного судна, м;

$z_г$ — координата равнодействующей приложения ледового покрова на корпусе аварийного судна, м;

$d$К$_{а.л}$ — разница курсов ледокола и аварийного судна, град.;

$d$К$_{а.п}$ — разница курсов поддерживающего и аварийного судна, град.

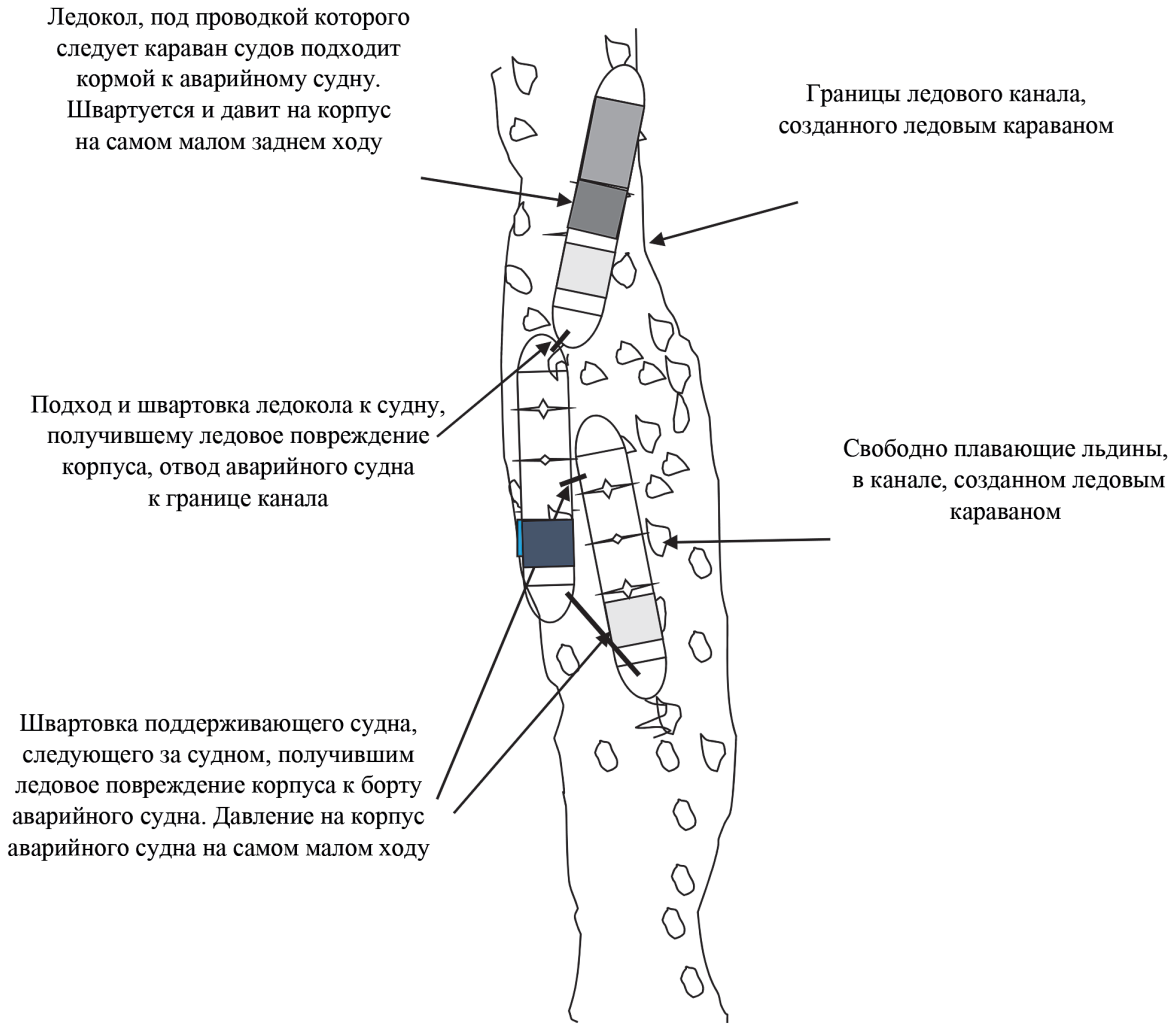


*Рис. 3.* Швартовка ледокола к поврежденному судну

Расчеты показывают, что давление на корпус аварийного судна поддерживающих судов существенно увеличивают СВМ на этом поврежденном судне даже при потере хода относительно

воды (5). Взаимодействие аварийного судна с поддерживающими судами путем швартовки и создания сцепки создает благоприятные условия для организации эвакуации людей с аварийного судна путем пересадки на поддерживающие суда без водной (ледовой) спасательной операции.

3. *Повреждение получает судно, следующее за ледоколом в ледовом караване в относительно широком ледовом канале; ход аварийного судна относительно воды потерян.*

Суммарный восстанавливающий момент на аварийном судне после обеспечения сцепки может быть определен в виде

$$M_{в\sum а} = P_а h_{1а} \sin\theta_а + P_л h_л \sin\theta_а + P_п h_п \sin\theta_а, \quad (6)$$

где $h_{1а}$ — поперечная метацентрическая высота аварийного судна после начала поступления воды через пробоину, м;

$P_а$ — весовое водоизмещение аварийного судна, кН;

$\theta_а$ — угол крена аварийного судна, град.;

$P_л$ — весовое водоизмещение ледокола, кН;

$h_л$ — поперечная метацентрическая высота ледокола, м;

$h_п$ — поперечная метацентрическая высота поддерживающего судна, следовавшего в караване за аварийным судном, м;

$P_п$ — весовое водоизмещение поддерживающего судна, следовавшего в караване за аварийным судном, кН.

*Рис. 4.* Движение вперед ледокола после швартовки носом к аварийному судну

Таким образом, ледокол швартуется выдавливая свободно плавающий лед между корпусами судов, к аварийному судну всем бортом, обеспечивая сцепку. Для предотвращения повреждения

корпуса ледокола заводится кранцевая защита. Поэтому судно, следующее за получившим ледовое повреждение корпуса судном, движется вперед, выдавливая свободно плавающий лед между корпусами судов, затем швартуется к аварийному судну всем бортом, обеспечивая сцепку. Для выполнения расчета по формуле (6), сравнения и анализа результатов с целью получения выводов использованы данные аварийного и поддерживающих судов, приведенные в табл. 1.

*Таблица 1*

**Исходные данные аварийного и поддерживающих судов**

| | |
|---|---|
| Водоизмещение аварийного судна, т | 12 000 |
| Водоизмещение аварийного судна, кН | 97 000 |
| Начальная поперечная МВ аварийного судна, м | 0,51 |
| Угол крена аварийного судна, град. | 1,0 |
| Водоизмещение ледокола, | 20 000 |
| Водоизмещение ледокола, кН | 100 000 |
| Начальная поперечная МВ ледокола, м | 5 |
| Угол крена ледокола, град. | 1 |
| Водоизмещение поддерживающего судна, т | 11 000 |
| Водоизмещение поддерживающего судна, кН | 97 000 |
| Начальная поперечная МВ поддерживающего судна, м | 1 |

Результаты расчета схемы швартовки (рис. 5) показывают, что сцепка поврежденного судна с поддерживающими судами значительно увеличивает ДВМ на поврежденном судне. Жесткость сцепки позволяет использовать существующие и создавать новые швартовные устройства по сравнению с существующими. Необходимо заводить дополнительную кранцевую защиту во избежание повреждения корпуса поддерживающих судов.

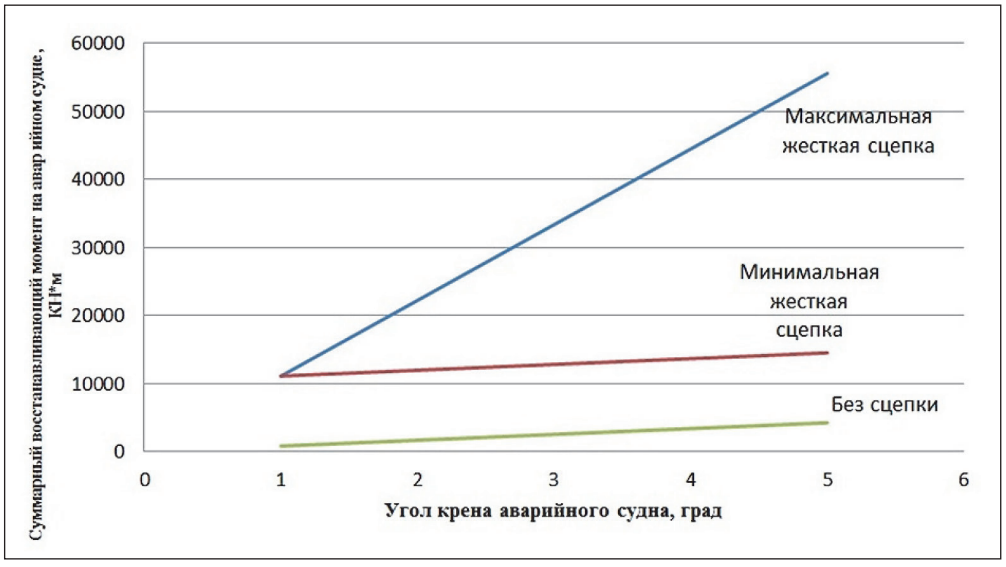


*Рис. 5.* Изменение величины СВМ при различных вариантах сцепки

Взаимодействие аварийного судна с поддерживающими судами путем швартовки и создания сцепки создает благоприятные условия для организации эвакуации людей с аварийного судна путем пересадки на поддерживающие суда без водной (ледовой) спасательной операции [8], [16].

4. *Повреждение получает судно, следующее в середине ледового каравана в относительно широком ледовом канале; ход аварийного судна относительно воды потерян.*

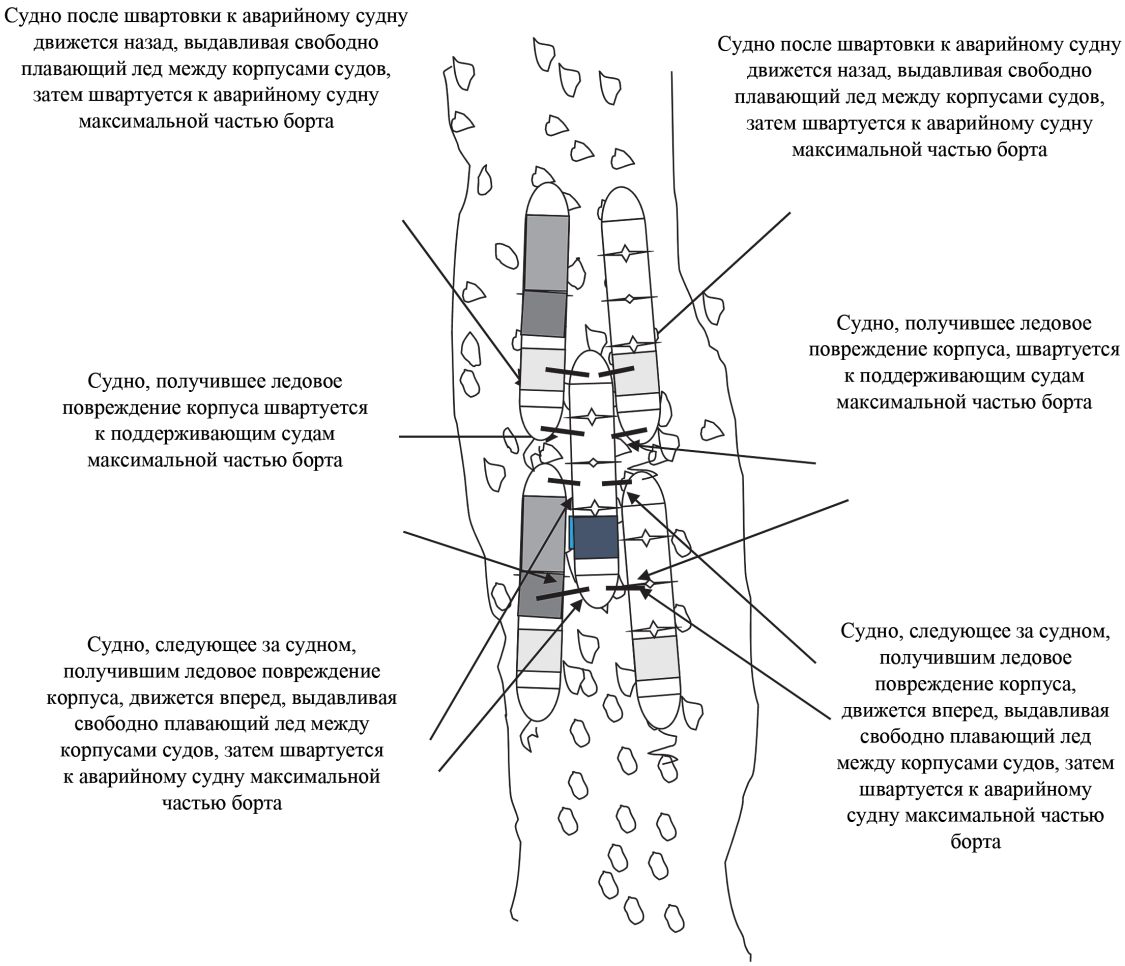


*Рис. 6*. Суда после швартовки к аварийному судну

После швартовки к аварийному судну (рис. 6) суда движутся назад и вперед, выдавливая свободно плавающий лед между корпусами судов, затем швартуется к аварийному судну максимальной частью борта. На судах в месте сцепки устанавливается дополнительная кранцевая защита. Суммарный восстанавливающий момент (СВМ) на аварийном судне после создания сцепки в результате швартовки может быть определен в виде формулы

$$M_{в\sum а} = P_а h_{1а} \sin\theta_а + P_{п1} h_{п1} \sin\theta_{п1} + P_{п2} h_{п2} \sin\theta_{п2} + P_{п3} h_{п3} \sin\theta_{п3} + P_{п4} h_{п4} \sin\theta_{п4}, \quad (7)$$

где $h_{1а}$ — поперечная метацентрическая высота аварийного судна после начала поступления воды через пробоину, м;

$P_а$ — весовое водоизмещение аварийного судна, кН;

$\theta_а$ — угол крена аварийного судна, град.;

$P_{п1}$ — весовое водоизмещение первого поддерживающего судна 1, кН;

$\theta_{п1}$ — угол крена поддерживающего судна 1, град.;

$h_{п1}$ — поперечная метацентрическая высота поддерживающего судна 1, следующего в караване перед аварийным судном 1, м;

$P_{п2}$ — весовое водоизмещение второго поддерживающего судна 2, кН;

$\theta_{п2}$ — угол крена поддерживающего судна 2, град.;

$h_{п2}$ — поперечная метацентрическая высота второго поддерживающего судна 2, следующего в караване перед аварийным судном, м;

$P_{п3}$ — весовое водоизмещение третьего поддерживающего судна 3, кН;

$\theta_{п3}$ — угол крена поддерживающего судна 3, град.;

$h_{п3}$ — поперечная метацентрическая высота третьего поддерживающего судна 3, следующего в караване за аварийным судном, м;

$P_{п4}$ — весовое водоизмещение четвертого поддерживающего судна 4, кН;

$\theta_{п4}$ — угол крена поддерживающего судна 4, град.;

$h_{п4}$ — поперечная метацентрическая высота четвертого поддерживающего судна 4, следующего в караване за аварийным судном, м.

Анализ величины СВМ по формуле (7) представлен на рис. 7. Для выполнения расчета, сравнения и анализа результатов из табл. 1 выбраны данные судов. Исходные данные аварийного и поддерживающих судов для расчета по формуле (7) приведены в табл. 1.

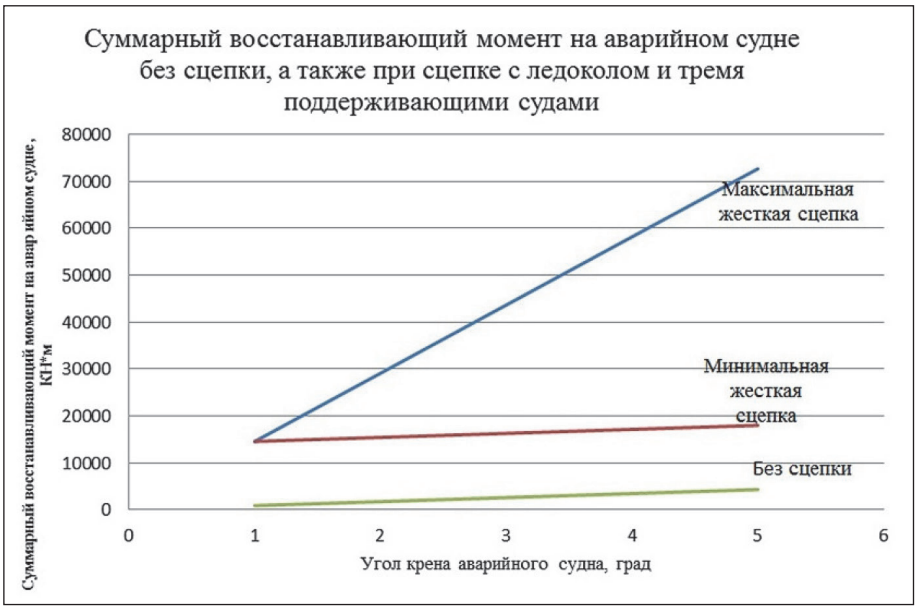


*Рис. 7.* Анализ величины СВМ по результатам расчета швартовки судов

Результаты расчета швартовки судов, приведенные на рис. 6 и 7, показывают, что увеличение количества судов в сцепке значительно увеличивает СВМ на поврежденном судне, поэтому необходимо заводить дополнительную кранцевую защиту во избежание повреждения корпусов поддерживающих судов. Взаимодействие поврежденного судна с поддерживающими судами путем швартовки и создания сцепки создает благоприятные условия для организации эвакуации людей с аварийного судна путем пересадки на поддерживающие суда, без водной (ледовой) спасательной операции [7], [11].

**2-й вариант — взаимодействие судов при повреждениях на чистой воде.**

Рассмотрим наиболее характерные ситуации.

1. *Повреждение получает судно на воде, свободной от сплоченного льда, ход аварийного судна относительно воды потерян, на сигнал бедствия прибывают другие суда* (см. 1-й вариант).

На рис. 8 рассмотрена ситуация, когда аварийное судно потеряло ход относительно воды. На судах в месте сцепки устанавливается дополнительная кранцевая защита. СВМ на аварийном судне после появления давления от подошедших судов может быть определен в виде

$$M_{в\sum a} = P_a h_{1a} \sin\theta_a + P_{e1}\left(z_{Pe1} - d/2\right)\cos\theta_a + P_{e2}\left(z_{Pe2} - d/2\right)\cos\theta_a, \quad (8)$$

где $h_{1a}$ — поперечная метацентрическая высота аварийного судна после начала поступления воды через пробоину, м;

$\theta_a$ — угол крена аварийного судна, град.;

$P_{e1}$ — тяга гребного винта поддерживающего судна 1, кН;

$z_{Pe1}$ — точка приложения силы от работы поддерживающего судна 1 на корпусе аварийного судна, м;

$P_{e2}$ — тяга гребного винта поддерживающего судна, кН;

$z_{Pe2}$ — точка приложения силы от работы гребного винта поддерживающего судна 2 на корпусе аварийного судна, м;

$d/2$ — координата равнодействующей приложения гидродинамических сил на корпус аварийного судна, равная середине осадки аварийного судна, м.

*Рис. 8*. Повреждение судна на открытой воде, свободной от сплоченного льда

Для выполнения расчета, сравнения и анализа результатов выбраны исходные данные судов, приведенные в табл. 2.

*Таблица 2*

**Исходные данные аварийного и поддерживающих судов**

| | |
|---|---|
| Водоизмещение аварийного судна, т | 11000 |
| Водоизмещение аварийного судна, кН | 97000 |
| Начальная поперечная МВ аварийного судна, м | 0.51 |
| Угол крена аварийного судна, град. | 2 |
| Осадка аварийного судна, м | 9 |
| Водоизмещение поддерживающего судна 1, т | 11 000 |
| Водоизмещение поддерживающего судна 1, кН | 97 000 |
| Начальная продольная МВ поддерживающего судна 1, м | 151 |
| Угол дифферента поддерживающего судна 1, град. | 1.2 |
| Тяга поддерживающего судна 1, кН | 150 |
| Аппликата приложения упора поддерживающего судна 1, м | 18 |

*Окончание табл. 2*

| | |
|---|---|
| Водоизмещение поддерживающего судна 2, т | 11 000 |
| Водоизмещение поддерживающего судна 2, кН | 97 000 |
| Начальная продольная МВ поддерживающего судна 2, м | 151 |
| Угол дифферента поддерживающего судна 2, град. | 2 |
| Тяга поддерживающего судна 2, кН | 151 |
| Аппликата приложения упора поддерживающего судна 2, м | 18 |

Анализ величины СВМ по формуле (8) приведен на рис. 9.

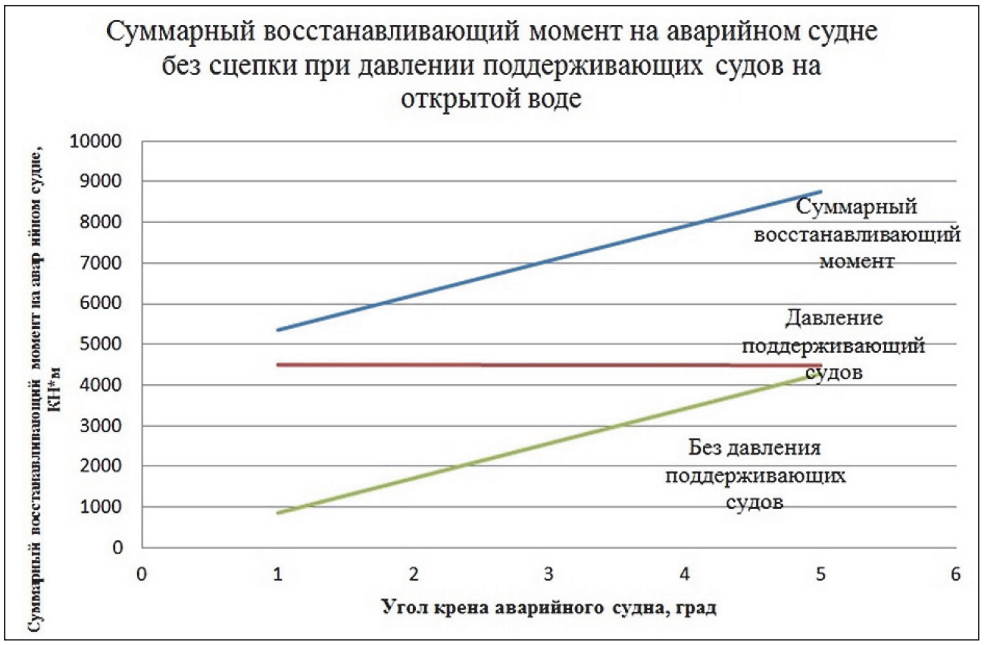


*Рис. 9.* Анализ величины СВМ

Таким образом, суда, пришедшие на спасение по сигналу бедствия аварийного судна, подходят носом к пониженному борту аварийного судна и начинают работать двигателем на самый малый передний ход (на судах предусматривается дополнительная кранцевая защита корпуса).

Согласно схеме, представленной на рис. 10, давление поддерживающих судов на корпус поврежденного судна путем работы движителей на самый малый ход может значительно увеличить величину СВМ на поврежденном судне даже при отсутствии сцепки. На судах значительных продольных размеров следует с осторожностью выполнять данный вид сцепки, осуществляя подход к поврежденному судну в местах, указанных на борту судна как TUG или место подхода буксира для обеспечения воздействия по нормали к поврежденному судну. Этот способ, позволяющий избежать опасного влияния аварийного судна на корпус поддерживающих судов, может быть рекомендован для судов.

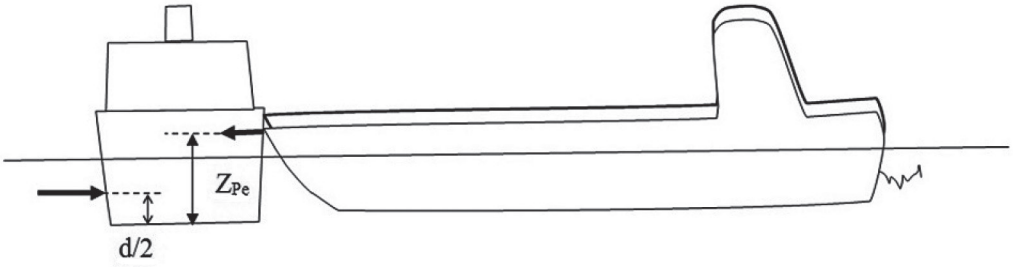


*Рис. 10.* Схема сил на аварийном судне при воздействии поддерживающих судов после начала работы двигателем на самый малый передний ход

2. *Повреждение получает судно на воде, свободной от сплоченного льда; ход аварийного судна относительно воды потерян, на сигнал бедствия прибывают другие суда* (рис. 11).

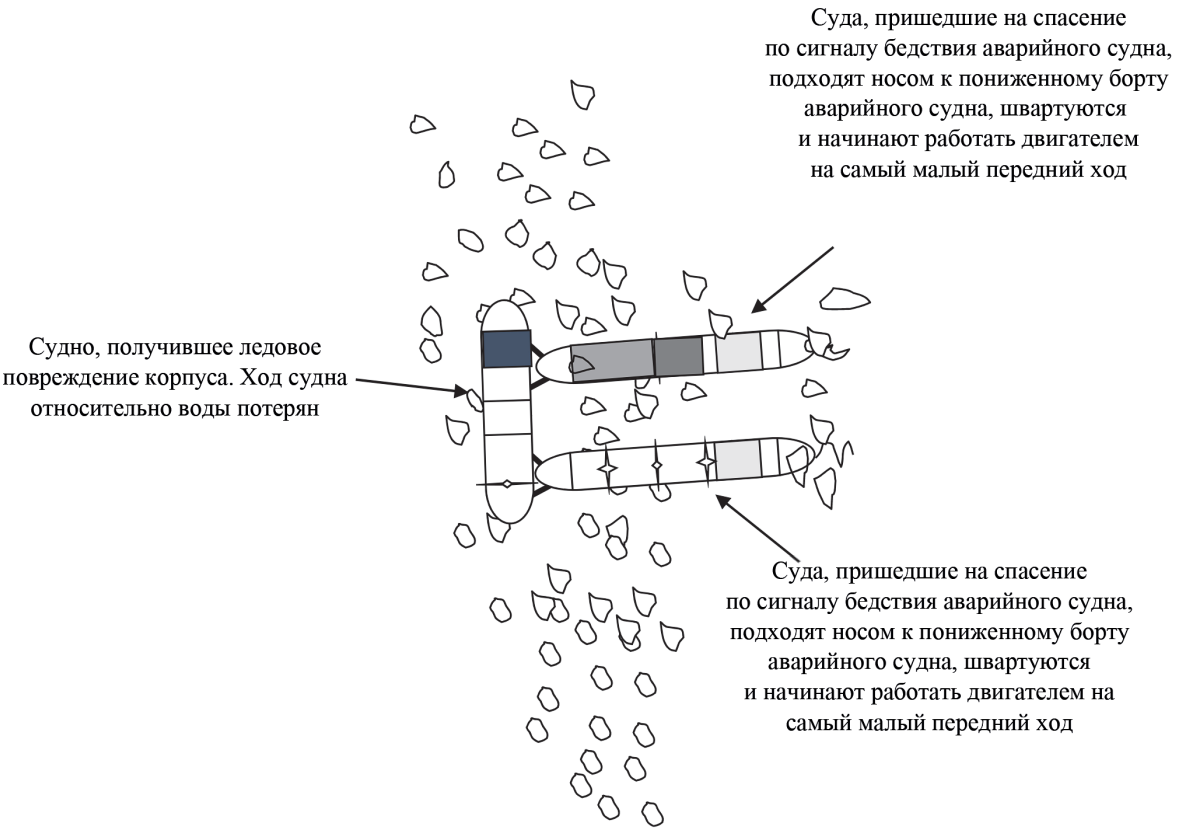


*Рис. 11.* Повреждение судна на открытой воде, свободной от сплоченного льда

Аварийное судно потеряло ход относительно воды. Суда, пришедшие на спасение по сигналу бедствия аварийного судна, подходят носом к пониженному борту аварийного судна, швартуются и начинают работать двигателем на самый малый передний ход. СВМ на аварийном судне после швартовки подошедших судов и обеспечения сцепки с аварийным судном может быть определен по формуле

$$M_{в\sum a} = P_a h_{1a} \sin\theta_a + P_1 H_1 \sin\psi_1 + P_2 H_2 \sin\psi_2, \quad (10)$$

где $h_{1a}$ — поперечная метацентрическая высота аварийного судна после начала поступления воды через пробоину, м;

$P_a$ — весовое водоизмещение аварийного судна, кН;

$\theta_a$ — угол крена аварийного судна, град.;

$\psi_1$ — угол дифферента поддерживающего судна 1, град.;

$\psi_2$ — угол дифферента поддерживающего судна 2, град.;

$P_1$ — весовое водоизмещение поддерживающего судна 1, кН;

$P_2$ — весовое водоизмещение поддерживающего судна 2, кН;

$H_1$ — продольная метацентрическая высота поддерживающего судна 1, м;

$H_2$ — продольная метацентрическая высота поддерживающего судна 2, м.

Результаты расчета по формуле (10), представленные на рис. 11, показывают, что наличие сцепки аварийного и поддерживающих судов, расположенных носом к аварийному судну, максимально увеличивает величину восстанавливающего момента на аварийном судне за счет того, что в его создании участвует продольная метацентрическая высота поддерживающих судов. При расположении поддерживающих судов носом к поврежденному можно усилить жесткость

их сцепки и значительно увеличить восстанавливающий момент на поврежденном судне. Это позволяет использовать существующие и создавать новые швартовные устройствами, расположенные на баке поддерживающих судов в целях увеличения СВМ на поврежденном судне.

На судах значительных продольных размеров следует с осторожностью выполнять данный вид сцепки и осуществлять подход поддерживающих судов в местах, указанных на борту судна как TUG или место подхода буксира для обеспечения воздействия по нормали к поврежденному судну. Взаимодействие поврежденного судна с поддерживающими судами путем швартовки и создания сцепки создает благоприятные условия для организации эвакуации людей с аварийного судна путем пересадки на поддерживающие суда без водной (ледовой) спасательной операции [8], [16].

## Результаты (Results)

Благодаря использованию численных методов расчета параметров движения судна в полярных водах и действий в аварийных ситуациях с учетом влияния других судов, расчеты с использованием математического моделирования показывают эффективность различных вариантов взаимодействия между судами путем создания сцепки. Таким образом рекомендуется учитывать при подготовке к рейсу варианты взаимодействия между судами, изложенные в пп. 1 и 2 рассмотренных вариантов сцепки.

В результате произведенных расчетов и рассмотренных в статье вариантов сцепки между судами, совершающими плавание в полярных водах, выше шестидесятой параллели, сформулированы конкретные рекомендации относительно действия судов при возникновении чрезвычайных ситуаций для обеспечения их безопасности. Рассмотренные рекомендации могут применяться как для судов, совершающих плавание в полярных водах, в том числе по Северному морскому пути, так и для других судов, совершающих рейсы в других районах Мирового океана.

## Обсуждение (Disscussion)

Чрезвычайные ситуации, в которые могут попасть суда, особенно при плавании в полярных водах, сами по себе являются более суровыми условиями плавания с точки зрения возможности возникновения рисков. Эти риски в первую очередь включают в себя возможность получения пробоин в ходе ледового плавания ввиду наличия торосов, рапака и т. п. Планирование рейса при переходах в полярных водах должно выполняться заблаговременно и варианты действий судна при возникновении аварийных ситуациях также должны быть тщательно продуманы. Для создания различных вариантов сцепки на судах должна быть предусмотрена адекватная кранцевая защита, позволяющая избежать повреждения корпуса подошедшего судна, а также может быть продуман дополнительный механизм для создания так называемой «жесткой» сцепки помимо заведения стальных тросов и швартовных устройств между судами. На основании вариантов сцепки при разных условиях, которые рассмотрены в статье, могут разрабатываться мероприятия по взаимодействию судов в аварийных случаях при планировании рейса, что соответствует предписаниям НЭПВ [3], [4].

## Выводы (Conclusion)

На основе результатов проведенного исследования решены следующие задачи:

1. Выполнен расчет эффективного способа обеспечения безопасности в аварийных случаях при повреждении корпуса судна в полярных водах.

2. Исследованы различные варианты взаимодействия и сцепки судов в случаях повреждений корпуса в различных условиях ледового плавания.

3. Разработаны рекомендации по созданию сцепки для судов при возникновении чрезвычайной ситуации в условиях плавания в полярных водах.

В ходе решения задач исследования сделаны следующие выводы:

1. Для получивших повреждение судов рекомендуется создание сцепки путем швартовки и / или иных более жестких вариантов, когда угол крена приближается к углу дифферента или углу крена поддерживающего судна, что значительно повышает СВМ на поврежденном судне.

2. Рекомендуется создание сцепки со всеми судами, пришедшими на помощь, так как увеличение количества судов, принимающих участие в сцепке, дополнительно повышает СВМ на поврежденном судне.

3. При создании сцепки между судами рекомендуется создание давления поддерживающих судов на корпус поврежденного судна, что дополнительно повышает СВМ на поврежденном судне.

4. Наиболее эффективным является создание сцепки и последующая перекачка для извлечения пробоины из воды (создание сцепки на время перекачки для контроля крена и увеличения временного интервала для перекачки, после этого сцепка может быть ликвидирована и поддерживающие суда могут отойти для создания условий при проведении ремонтных работ по заделке пробоины).

5. Различные виды сцепки судов после спрямления поврежденного льдом судна с извлечением пробоины из воды можно рекомендовать как основной метод взаимодействия со спасателями и иными судами при повреждении судна льдом в соответствии с установленными МПК предписаниями.

Таким образом, приведенные рекомендации для судов могут существенно повысить безопасность плавания в ледовых условиях, а также в дальнейшем могут служить основой для разработки наставлений по эксплуатации судов в полярных водах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Международная Конвенция по охране человеческой жизни на море 1974 года с поправками (СОЛАС-74) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://base.garant.ru/71353064/ (дата обращения: 01.11.2022).

2. Международная конвенция о предотвращении загрязнения с судов 1973 года, измененная протоколом 1978 г. к ней с поправками (МАРПОЛ 73/78) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://base.garant.ru/2540818/ (дата обращения: 01.11.2022).

3. Приказ Минтранса России от 17.01.2013 № 7 (ред. от 09.01.2017) «Об утверждении Правил плавания в акватории Северного морского пути» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_145233/ (дата обращения: 01.11.2022).

4. Резолюция ИМО MSC.385(94). Международный кодекс для судов, эксплуатирующихся в полярных водах (Полярный кодекс) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://base.garant.ru/71844400/ (дата обращения: 01.11.2022).

5. *Gao G. X.* Breaking the Ice: Navigation in the Arctic / G. X. Gao, L. Heng, T. Walter, P. Enge // Proceedings of the 24th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS 2011). — National Academies Press, 2012. — Pp. 3767–3772.

6. *Ершов А. А.* Теория судна. Статика: учеб. пособие / А. А. Ершов [и др.]. — СПб.: ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2009. — 170 с.

7. *Ершов А. А.* Некоторые аварии и катастрофы отечественных и иностранных судов: монография / А. А. Ершов, В. И. Никольский. — СПб.: ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2013. — 196 с.

8. *Ершов А. А*. Разработка системы интеллектуальной поддержки судоводителя для снижения опасности столкновений судов: дис. … д-ра техн. наук: 05.22.19; защищена 19.11.2012; утв. 20.05.2013 / Андрей Александрович Ершов. — СПб., 2012. — 366 с.

9. Резолюция ИМО MSC.386(94). Поправки к Международной конвенции по охране человеческой жизни на море 1974 года с поправками [Электронный ресурс]. — Режим доступа: https://base.garant.ru/71730660/ (дата обращения: 01.11.2022).

10. *Узун О. Л.* Концепция развития и обеспечения безопасности территорий Крайнего Севера в современных условиях / О. Л. Узун // Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Арктика — регион стратегических интересов: правовая политика и современные технологии обеспечения безопасности в Арктическом регионе / Материалы междунар. науч.-практ. конф. — СПб.: Санкт-Петербургский ун-т Гос. противопожарной службы Министерства РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий имени Героя Российской Федерации генерала армии Е. Н. Зиничева, 2020. — С. 102–104.

11. *Статуте А. И.* Обзор роли Арктического судоходства и обеспечение его экологической безопасности / А.И. Статуте // Российская Арктика. — 2020. — № 9. — С. 5–16. DOI: 10.24411/2658-4255-2020-12091.

12. *Рейхерт А. В.* Аспекты обеспечения экологической безопасности при транспортировке углеводородов на арктическом шельфе / А. В. Рейхерт // Научное сообщество студентов XXI столетия. Экономические науки: сб. ст. по материалам CVII студ. междунар. науч.-практ. конф. — Новосибирск: ООО «Сибирская академическая книга», 2021. — С. 19–26.

13. *Петров А. А.* Создание программного обеспечения для разработки эксплуатационной документации на суда ледового плавания / А. А. Петров, И. А. Лебехов, С. А. Идрисова // Труды Крыловского государственного научного центра. — 2018. — № S2. — С. 25–32. DOI: 10.24937/2542-2324-2018-2-S-I-25-32.

14. *Никитина В. Н.* Некоторые аспекты обеспечения безопасности судоходства полярных водах / В. Н. Никитина, Н. И. Калинина, Г. Г. Ляшко, Е.Н. Панкина // Российская Арктика. — 2019. — № 6. — С. 44–47. DOI: 10.24411/2658-4255-2019-10066.

15. *Ершов А. А.* Рекомендации по спрямлению судна при аварии в ледовых условиях/ А. А. Ершов, П. И. Петухов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 6 (40). — С. 34–42. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-6-34-42.

16. *Ершов А. А.* Рекомендации по действиям в чрезвычайных ситуациях в ледовых условиях плавания / А. А. Ершов, П. И. Петухов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 1. — С. 17–26. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-1-17-26.

## REFERENCES

1. The International Convention for the Safety of Human Life at Sea of 1974, as amended (SOLAS-74). Web. 1 Nov. 2022 <https://base.garant.ru/71353064/>.

2. The International Convention on the Prevention of Pollution from Ships of 1973, as amended by the Protocol of 1978 to it, as amended (MARPOL 73/78). Web. 1 Nov. 2022 <https://base.garant.ru/2540818/>.

3. Prikaz Mintransa Rossii ot 17.01.2013 № 7 (red. ot 09.01.2017) "Ob utverzhdenii Pravil plavaniya v akvatorii Severnogo morskogo puti". Web. 1 Nov. 2022 <http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_145233/>.

4. Resolution MSC.385(94) – International Code for Ships Operating in Polar Waters (Polar Code) – (Adopted On 21 November 2014). Web. 1 Nov. 2022 <https://www.imorules.com/MSCRES_385.94.html>.

5. Gao, Grace Xingxin, Liang Heng, Todd Walter, and Per Enge. "Breaking the ice: Navigating in the Arctic." *Proceedings of the 24th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS 2011)*. National Academies Press, 2012. 229–238.

6. Ershov, A.A., B.P. Korotkov, G.T. Mil'kin, and M.S. Ovsyannikov. *Teoriya sudna. Statika: ucheb. posobie*. SPb.: GMA im. adm. S. O. Makarova, 2009.

7. Ershov, A.A., and V. I. Nikol'skii. *Nekotorye avarii i katastrofy otechestvennykh i inostrannykh sudov: monografiya*. SPb.: GUMRF im. adm. S. O. Makarova, 2013.

8. Ershov, A.A. Razrabotka sistemy intellektual'noi podderzhki sudovoditelya dlya snizheniya opasnosti stolknovenii sudov. Dr. diss. SPb., 2012.

9. Resolution MSC.386(94) – Amendments to the 1974 International Convention for the Safety of Life at Sea, as amended. Web. 1 Nov. 2022 <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/MSCResolutions/MSC.386(94).pdf>.

10. Uzun, O.L. "The concept of development and safety of the far north territories the in modern conditions." *Servis bezopasnosti v Rossii: opyt, problemy, perspektivy. Arktika-region strategicheskikh interesov: pravovaya politika i sovremennye tekhnologii obespecheniya bezopasnosti v Arkticheskom regione. Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. SPb, 2020. 102–104.

11. Statuto, A.I. "Overview of the arctic shipping role and ensuring of its environmental safety." *Russian Arctic* 9 (2020): 5–16. DOI: 10.24411/2658-4255-2020-12091.

12. Petrov, A.A., I.A. Lebekhov, and S.A. Idrisova. "Creating software for operating documentation development to ice-going ships." *Transactions of the Krylov state research centre* S2 (2018): 25–32. DOI: 10.24937/2542-2324-2018-2-S-I-25-32.

13. Nikitina, V., N. Kalinina, G. Lyashko, and E. Pankina. "Some aspects of the safety of navigation in polar waters." *Russian Arctic* 6 (2019): 44–47. DOI: 10.24411/2658-4255-2019-10066.

14. Reikhert, Artur. "Aspects of ensuring environmental safety during transportation of hydrocarbons on the arctic shelf." *Nauchnoe soobshchestvo studentov XXI stoletiya. Ekonomicheskie nauki. Sbornik statei po materi-*

*alam CVII studencheskoi mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Novosibirsk: Sibirskaya akademicheskaya kniga, 2021. 19–26.

15. Ershov, Andrey Alexandrovich, and Pavel Igorevich Petuhov. "Recommendations to straighten the ship in the accident in ice conditions." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 6(40) (2016): 34–42. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-6-34-42.

16. Ershov, Andrey A., and Pavel I. Petuhov. "Recommendations for emergency response in ice conditions of navigation." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 9.1 (2017): 17–26. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-1-17-26.

**ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ**

**Петухов Павел Игоревич** — соискатель
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова
198035, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: *sevarus89@gmail.com*

**INFORMATION ABOUT THE AUTHOR**

**Petuhov, Pavel I.** — Applicant
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: *sevarus89@gmail.com*

*Статья поступила в редакцию 5 октября 2022 г.*
*Received: October 5, 2022.*