

УДК 681.30:656.12

DOI: 10.31653/2306-5761.29.219.201-210

CONTROL OF STABILITY PARAMETERS ON SPECIALIZED VESSELS DURING CARGO OPERATIONS WITH HEAVY AND OVERSIZED CARGOES

КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ОСТОЙЧИВОСТИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ СУДОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ГРУЗОВЫХ ОПЕРАЦИЙ С ТЯЖЕЛЫМИ И НЕГАБАРИТНЫМИ ГРУЗАМИ

O. S. Solovey, PhD student

А. С. Соловей, аспірант

*Kherson State Maritime Academy, Ukraine
Херсонська державна морська академія, Україна*

ABSTRACT

Purpose. This article describes how to improve the methods to control stability parameters during ship`s cargo operations with heavy and oversized cargoes on specialized vessels (such as Heavy Lift).

Method. The analysis of theoretical and practical developments devoted to solving the problem of ensuring the safety of cargo operations on the ships of type Heavy Lift is given. The characteristics and disadvantages of the existing most functional integrated software tools of various manufacturers (Germany, the Netherlands) are highlighted.

Results. Key areas of research in this area are identified. The control parameters that affect the stability of the vessel and, as a consequence, the safety of ship cargo operations are presented, classified and described. It is shown that the solution to the problem of ensuring the efficiency of managerial decision-making can be achieved by using the decision support system (DSS) for managing dynamic parameters that are controlled when loading heavy and oversized cargoes by the ship cranes. When creating specialized DSSs, it is necessary to form a knowledge base on loading / unloading procedures, already tested on real examples in the practice of maritime shipping, and using multi-criteria optimization methods to solve the problems of choosing the best control actions for a particular loading / unloading process.

Scientific novelty. Author suggested the approaches to improve standard procedure of the loading operations on such vessels by using decision support system. This system executes monitoring and management of a number of the vessel characteristics: quantity of ballast and its distribution in ballast tanks, heeling angle, metacentric height, hook load, boom outreach, wind speed and rolling period.

Practical importance. Use of the proposed method for the creating decision support systems during cargo operations with heavy and oversized cargoes on specialized vessels will allow, with exciting equipment, to reduce risk, increase the

safety of these operations, decrease economic costs by reducing the time of cargo operations.

Keywords: hoisting angle, decision support system, heavy lift cargo, heavy lift vessels.

РЕФЕРАТ

Ціль. В статті розглянуті питання вдосконалення методів контролю параметрів остійності під час проведення вантажних операцій з важкими і негабаритними вантажами на спеціалізованих судах (типу Heavy Lift).

Методика. Наведено аналіз теоретичних і практичних розробок, присвячених вирішенню проблеми забезпечення безпеки вантажних операцій на судах типу Heavy Lift. Висвітлено характеристики і недоліки існуючих найбільш функціональних комплексних програмних засобів різних виробників (Німеччина, Нідерланди).

Результати. Визначено ключові напрямки досліджень в даній області. Наведені, класифіковані і описані контрольні параметри, які впливають на остійність судна, а як наслідок – на безпеку проведення суднових вантажних операцій. Показано, що рішення задачі по забезпеченню оперативності прийняття управлінських рішень може бути забезпечено шляхом використання системи підтримки прийняття рішень (СППР) з управління динамічними параметрами, контрольованими, при завантаженні важких і негабаритних вантажів судновими кранами. При створенні спеціалізованих СППР необхідно формувати базу знань по процедурам завантаження/розвантаження, які вже відпрацьовані на реальних прикладах в практиці морського судноплавства, і використовують методи багатокритеріальної оптимізації для вирішення задач вибору найкращих керуючих впливів для конкретного процесу завантаження/розвантаження.

Наукова новизна. Запропоновано підходи по вдосконаленню типової методики виконання вантажних операцій на спеціалізованих судах, шляхом використання системи підтримки прийняття рішень, що здійснює моніторинг і управління рядом параметрів судна: кількістю баласту і його розподілом в баластних танках, кутом крену судна, метацентричною висотою, навантаженням на гак стріли, вильотом стріли, швидкістю вітру, періодом качки.

Практична значимість. Використання запропонованої методики по створенню систем підтримки прийняття рішень при проведенні вантажних операцій з важкими і негабаритними вантажами на спеціалізованих судах, дозволить при існуючому рівні обладнання знизити рівень ризику, підвищить безпеку цих операцій, знизить економічні витрати за рахунок скорочення часу вантажних операцій.

Ключові слова: підйомний кут, система підтримки прийняття рішень, важкі негабаритні вантажі, спеціалізовані судна Heavy Lift.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами

Несмотря на кризисные явления в экономике объемы морских перевозок продолжают расти. Особенно заметным является рост перевозок, так как называемых генеральных (проектных) грузов для потребностей энергетической промышленности, офшорной индустрии, значительную часть из которых составляют тяжелые негабаритные грузы. В условиях, когда необходимо обеспечить максимально полную загрузку судна, экономические соображения заставляют вводить в эксплуатацию все более крупные суда, оборудованные собственными кранами грузоподъемностью до 1000 тонн.

В современном мировом торговом флоте на 2014 г., согласно данным Международной морской организации (ИМО), насчитывается около 50000 судов, из которых большая часть приходится на сухогрузные суда: балкера (16 800 судов) и универсальные суда для перевозки генеральных грузов (10 400 судов). Значительную часть универсальных судов (General Cargo Ships) составляют специализированные суда для перевозки тяжелых негабаритных грузов (Heavy Lift Carrier). Этот класс судов можно разделить на 4 группы:

- универсальные суда, оснащенные тяжелыми грузовыми стрелами (SWL от 25 т до 350 т) – составляют примерно 10% от общего числа судов класса;
- контейнеровозы-фидеры (container feeder vessel) с грузоместимостью до 500 TEU, оборудованные 2-3 судовыми кранами (SWL от 30 т до 80 т) – составляют примерно 30% от общего числа судов класса;
- специализированные суда-тяжеловозы, оборудованные 2-3 тяжелыми судовыми кранами (SWL от 120 т до 1000 т) для перевозки тяжелых негабаритных грузов – составляют примерно 40% от общего числа судов класса;
- полупогружаемые суда (semi-submersible vessel), используемые для перевозки буровых платформ, других судов – составляют примерно 20% от общего числа судов класса.

Согласно проведенному анализу по данным наиболее крупных судоходных компаний – мировых лидеров на рынке морских перевозок тяжелых негабаритных грузов (Jambo Shipping, BigLift Shipping, Spliethoff, Hansa Heavy Lift, BBC Chartering, Intermarine, SAL, Harren & Partner), основной сегмент их флота составляют суда-тяжеловозы дедевейтом до 20 000 т, оборудованные 2 тяжелыми судовыми кранами SWL от 120 т до 450 т. На долю этих судов приходится около 70% перевозимых тяжелых негабаритных грузов.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы

Решению проблемы обеспечения безопасности грузовых операций на судах типа Heavy Lift посвящено большое количество теоретических и практических разработок. Из анализа представленных работ следует, что повышение безопасности грузовых операций на судах типа Heavy Lift может быть обеспечено в случае наличия комплексных программных средств

управления погрузкой/выгрузкой судна. В настоящее время интенсивно развивается разработка соответствующих программных продуктов, наиболее полнофункциональными из которых являются следующие:

- грузовая компьютерная программа COLOS (Computer-Loading-System), производитель – DatentechnikRostockGmbH, Германия. Данный программный комплекс создан для предварительной проработки грузовых операций на универсальных судах с различными типами грузов: специальные (проектные) грузы, контейнеры, насыпной груз. Программа имеет привязку к каждому конкретному судну [1];
- Seacos MACS3 Loading Computer System, производитель INTERSCHALT maritime systems AG, Германия. Цифровая компьютерная автоматизированная система для транспортных судов, состоит из грузового компьютера и многофункционального программного комплекса, который позволяет просто и быстро определить основные параметры и значения для любых условий погрузки. Программный комплекс выполняет расчет остойчивости и прочности судна, отображает в графическом и цифровом виде результаты для основных параметров погрузки [2];
- LOCOPIAS грузовая компьютерная программа, производитель SARC BV, Нидерланды. Данная судовая грузовая компьютерная программа используется для получения оптимального варианта погрузки судна с учетом пределов значений для прочности, остойчивости, осадки судна. Программа может быть использована для любого типа судна. В коммерческом варианте поставляется в привязке к конкретному судну [5].

Общим недостатком существующих программных средств является то, что они решают только прямую задачу: по заданной загрузке производится оценка параметров мореходности судна, хотя имеющиеся теоретические разработки и современные компьютерные технологии позволяют разработку программ, способных при заданных допустимых параметрах посадки, остойчивости и общей продольной прочности, а также по предъявленному к перевозке грузу находить оптимальный (или приемлемый) вариант загрузки. Кроме того существующие программные средства, как правило, привязаны к конкретному судну. В связи с этим представляется необходимым ориентироваться на определенные классы судов, сформированные по нескольким параметрам (дедвейт, количество и грузоподъемность судовых кранов).

Формулирование целей статьи (постановка задачи)

Целью исследования является изучение вопросов усовершенствования методов контроля параметров остойчивости во время проведения грузовых операций с тяжелыми негабаритными грузами на специализированных судах (типа Heavy Lift).

Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

Многообразие решаемых судоводителем задач при реализации технологического процесса погрузки тяжелого негабаритного груза,

протекающее в общем случае в условиях неопределенности, обуславливает необходимость создания специализированных систем поддержки принятия решений (СППР), позволяющих существенно повысить качество управления процессом погрузки.

По результатам проведенного сравнительного анализа видно, что создание систем контроля параметров остойчивости является актуальным исследованием, направленным на повышение безопасности при осуществлении грузовых операций.

Для того, чтобы определить возможность возникновения опасного накренения в процессе погрузки и выгрузки судна судоводителями могут быть произведены предварительные расчеты, которые позволят найти параметры остойчивости и оценить углы крена, которые могут возникнуть на судне при последующих погрузочно-разгрузочных операциях [4]. При выполнении грузовых операций с тяжелыми и негабаритными грузами судоводителю, управляющему и контролирующему процесс погрузки тяжелых и негабаритных грузов судовыми кранами на судно, приходится сталкиваться с проблемой постоянного контроля нескольких параметров, влияющих на остойчивость судна, а как следствие на безопасность проведения грузовых операций.

Все эти параметры можно разделить условно на две группы: статические параметры и динамические параметры [4].

К статическим параметрам можно отнести следующие:

- масса груза;
- расположение центра тяжести груза;

Группу динамических параметров составляют следующие:

- поперечная метацентрическая высота GM (расчет этого параметра должен производиться как минимум для 3х этапов погрузки/выгрузки – GM начальная, GM при отрыве груза, GM при пересечении линии борта судна, GM при касании грузом палубы);

$$GM = KM - KG \quad (1)$$

где KM – возвышение метацентра судна над килем, KG – возвышение центра тяжести судна над килем.

- угол крена (учет этого параметра должен производиться на всем протяжении грузовой операции, и не должен превышать, 3^0 - 5^0);

$$tg\theta = \frac{w \cdot L \cdot \cos\alpha \cdot \sin\beta}{(W+w) \cdot GM - w \cdot (RG + L \cdot \sin\alpha)} \quad (2)$$

где W – водоизмещение судна, w – масса единицы груза, α – угол наклона стрелы, β – угол вылета стрелы, L – длина стрелы, RG – расстояние между центром тяжести судна и точкой крепления стрелы.

- масса (объем) балласта, необходимого для компенсирования массы груза при погрузке/выгрузке;

$$S = \frac{(P+Q+R) \cdot (\frac{B}{2} + a)}{S_y} \quad (3)$$

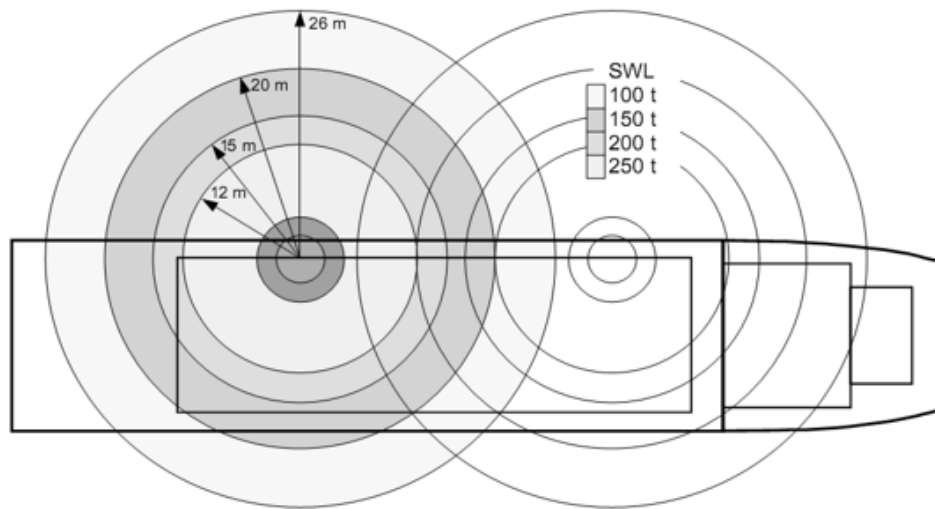


Рис. 1. Диаграмма зависимости SWL от вылета стрелы судового крана

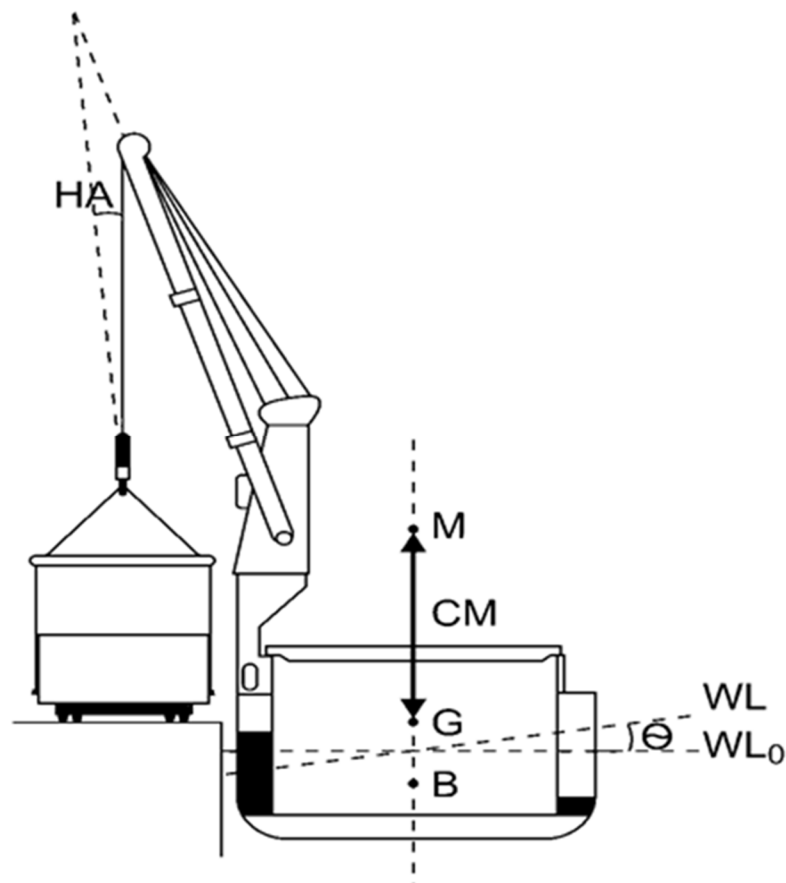


Рис. 2. Контролируемые параметры при погрузке тяжелых грузов

WL – ватерлиния, HA – подъемный угол, (Hoisting angle), Θ – угол крена судна, M – метацентр судна, GM – поперечная метацентрическая высота судна, B – центр плавучести судна, G – центр тяжести судна

Контроль вышеуказанных параметров напрямую зависит от особенностей остойчивости судна при различных вариантах погрузки и выгрузки тяжелого негабаритного груза. Эта зависимость представлена в таблице 1.

Таблиця 1. Особенности остойчивости при различных вариантах погрузки/выгрузки

Вид грузовой операции на судне	Контроль остойчивости судна	Изменения углов крена	Рекомендации
Выгрузка судовыми кранами (судно с палубным грузом). Начало выгрузки. Выгрузка выше ватерлинии (ВЛ)	Остойчивость судна понижена. Причины понижения остойчивости: – Наличие груза выше ВЛ (груз на палубе, на твиндеках и т.п). – Понижение остойчивости при выгрузке своими кранами. При продолжении выгрузки выше ВЛ остойчивость судна растет за счет уменьшения массы груза выше ВЛ	Значительная опасность нарастания больших углов крена в момент постановки груза своими кранами на причал.	Определить начальную метацентрическую высоту (МВ) перед выгрузкой. Рассчитать допустимые значения МВ на начало выгрузки. При необходимости увеличения остойчивости принять балласт.
Выгрузка судовыми кранами (судно с палубным грузом). Окончание выгрузки. Выгрузка груза ниже ВЛ.	Остойчивость судна понижена. Причины понижения остойчивости: – Снятие груза ниже ВЛ (трюмы судна). – Понижение остойчивости при выгрузке своими кранами. При продолжении выгрузки остойчивость снижается за счет уменьшения массы груза ниже ВЛ	Существует опасность нарастания больших углов крена в момент постановки груза своими кранами на причал	Определить начальную метацентрическую высоту (МВ) на момент окончания выгрузки. Рассчитать допустимые значения МВ. При необходимости увеличения остойчивости принять балласт.
Погрузка судовыми кранами (судно с палубным грузом). Начало погрузки. Погрузка в судовые помещения ниже ватерлинии (ВЛ)	Остойчивость судна понижена. Причины понижения остойчивости: – Отсутствие груза ниже ВЛ. – Понижение остойчивости при погрузке своими кранами. При продолжении погрузки ниже ВЛ остойчивость судна растет за счет увеличения массы груза ниже ВЛ	Опасность нарастания больших углов крена в момент подъема груза с причала для погрузки на судно.	Определить начальную метацентрическую высоту (МВ) перед выгрузкой. Рассчитать допустимые значения МВ на начало выгрузки. При необходимости увеличения остойчивости принять балласт.
Погрузка судовыми кранами (судно с палубным грузом). Окончание выгрузки. Погрузка груза выше ВЛ.	Остойчивость судна понижена. Причины понижения остойчивости: – Наличие груза и погрузка выше ВЛ. – Понижение остойчивости при выгрузке своими кранами. При продолжении погрузки выше ВЛ остойчивость судна снижается	Существует значительная опасность нарастания больших углов крена в момент подъема груза с причала.	Определить начальную метацентрическую высоту (МВ) на момент окончания погрузки. Рассчитать допустимые значения МВ. При необходимости увеличения остойчивости принять балласт.

Исходя из представленного анализа влияния грузовых операций на остойчивость судна, для безопасного проведения грузовых операций необходимо рассчитать параметры остойчивости судна. Значение метацентрической высоты судна, при которой можно осуществлять безопасную погрузку судна судовыми кранами или стрелами может быть определено с помощью системы уравнений:

$$\begin{cases} h_1 = h + \delta h = h + \frac{\sum m_{\Gamma}}{\Delta + \sum m_{\Gamma}} \cdot (d + \frac{\delta d}{2} - z_{\text{H}} - h) \\ \text{tg}\theta = \frac{\sum m_{\Gamma} \cdot y_{\text{H}} + \sum m_{\text{C}} \cdot y_{\text{C}}}{(\Delta + \sum m_{\Gamma}) \cdot h_1} \end{cases}, \quad (4)$$

где $\sum m_{\Gamma}$ – суммарная масса грузов, одновременно поднимаемая судовыми кранами; $\sum m_{\text{C}}$ – суммарная масса судовых стрел; y_{H} – координата по оси У нока судовой стрелы (м); y_{C} – координата по оси Y центра тяжести судовой стрелы (м); Δ – водоизмещение судна (т); d – средняя осадка (м); z_{H} – координата по оси Z нока судового крана (м); h – начальная метацентрическая высота (м); $\delta d = \frac{\sum m_{\Gamma}}{\rho \cdot S}$ где ρ – плотность воды (т/м³), S – площадь действующей ватерлинии (м²).

Подставив значение h_1 из второго уравнения в первое уравнение системы (4) и преобразуя его, получаем следующее выражение для начальной метацентрической высоты судна в зависимости от угла накренения судна:

$$h = \frac{\frac{\sum m_{\Gamma} \cdot y_{\text{H}} + \sum m_{\text{C}} \cdot y_{\text{C}}}{(\Delta + \sum m_{\Gamma}) \cdot \text{tg}\theta} - \frac{\sum m_{\Gamma}}{\Delta + \sum m_{\Gamma}} \cdot (d + \frac{\delta d}{2} - z_{\text{H}})}{1 - \frac{\sum m_{\Gamma}}{\Delta + \sum m_{\Gamma}}}, \quad (5)$$

Подставляя в выражение (5) допустимые углы крена судна при погрузке собственными кранами или стрелами можно получить значения необходимой начальной метацентрической высоты судна перед погрузкой судна. Формула (5) может использоваться при определении безопасных параметров остойчивости судна при погрузке судна [5].

Поскольку процесс управления погрузкой тяжелого негабаритного груза на специализированное судно осуществляется в режиме реального времени, крайне важным является оперативность принятия управленческих решений в процессе погрузки.

Решение этой задачи может быть обеспечено путем использования системы поддержки принятия решения (СППР) по управлению динамическими параметрами, контролируемые при погрузке тяжелых и негабаритных грузов. Данная СППР должна содержать базу правил по принятию решений, которая анализируют изменение этих динамических параметров и рекомендует лицу, принимающему решения (судоводитель), внесение изменений в процесс погрузки/выгрузки, гарантирующих безопасное проведение грузовых операций. Например: при росте нагрузки на гак стрелы судового крана увеличивается крен судна на борт, с которого поднимается груз, а поперечная метацентрическая высота (GM) уменьшается. Максимальное изменение

(уменьшение) GM будет в момент отрыва груза от причала. При одновременном росте крена судна в этот момент возрастает риск опрокидывания судна, и для того, чтобы его снизить, надо переместить необходимое количество балласта на противоположный борт судна.

Разработка таких СППР и решение оптимизационных задач сталкивается с рядом трудностей, связанных с особенностями процесса погрузки/выгрузки грузов, среди которых необходимо отметить следующие:

- сложность математической модели процесса управления погрузкой/выгрузкой;
- необходимость контроля большого количества параметров в режиме реального времени;
- необходимость выполнения нормативных требований, регламентирующих требования безопасности, в процессе погрузки/выгрузки на судне.

При создании специализированных СППР необходимо формировать базу знаний по процедурам погрузки/выгрузки, уже отработанным на реальных примерах в практике морского судоходства, и использующих методы многокритериальной оптимизации для решения задач выбора наилучших управляющих воздействий для конкретного процесса погрузки/выгрузки.

Таким образом, для эффективного решения задачи контроля подъемного угла (HA) во время проведения грузовых операций с тяжелыми негабаритными грузами на специализированных судах необходимо разработать математическую модель контроля параметров (подъемный угол HA , поперечная метацентрическая высота GM , угол крена, количество балласта), влияющих на погрузку судна при осуществлении таких операций, с последующим решением многокритериальной оптимизационной задачи выбора из значений для обеспечения требуемого уровня безопасности выполнения этих операций.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Использование предложенной методики по созданию систем поддержки принятия решений при проведении грузовых операций с тяжелыми и негабаритными грузами на специализированных судах, оборудованными собственными кранами, позволит при существующем уровне оборудования снизить уровень риска, повысит безопасность этих операций, снизит экономические затраты за счет сокращения времени грузовых операций, уменьшит влияние так называемого “человеческого фактора” на процесс их выполнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. User Manual for the loading computer COLOS (Computer-Loading-System).
2. Loading Computer System seacos MACS3 Version NET 1.1 Crane Operation Module Manual / INTERSCHALT maritime systems AG – Wilhelmstrasse 7-9 – 24937 Flensburg.

3. LOCOPIAS LOADING COMPUTER SOFTWARE MANUAL / SARC BV Eikenlaan 3, 1406 PK Bussum, The Netherlands.
4. BBC Guideline. Safe solutions for project cargo operations. — Leer: BBC Chartering and Logistic GmbH&Co.KG, 2009. — 76 p.
5. Ершов А.А. Контроль остойчивости и посадки судна при погрузке и выгрузке. – Санкт-Петербург, Издательство ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2002. –60 с.