

**ВЫБОР ПЕРЕЧНЯ ТРЮМОВ СУДНА ДЛЯ ПРИЕМА
НАВАЛОЧНЫХ ГРУЗОВ***Пятаков Э.Н.**Херсонская государственная морская академия*

В работе рассмотрен способ выбора набора трюмов балкера для приема навалочных грузов в ситуациях нестандартных загрузок, которые не предусмотрены в судовых грузовых документах. Предложенный способ позволяет выявить набор трюмов, содержащих их минимальное число, в которое можно разместить планируемый к приему груз. Получены необходимые аналитические зависимости.

Ключевые слова: мореходная безопасность, грузовые операции балкеров, навалочные грузы, минимальный набор трюмов.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами. В настоящее время транспортировка навалочных грузов балкерами составляет значительную часть морских перевозок. Грузовые операции балкеров из-за их значительной длины имеют ряд особенностей, одной из которых является одновременное проведение грузовых и балластных операций. В судовой грузовой документации имеется инструкция по стандартным загрузкам, в которой для каждого из стандартных вариантов грузовых операций указывается последовательность этапов загрузки судна.

В случае, когда загрузки навалочных судов являются нестандартными, возникают значительные трудности с планированием грузовых операций. Начальной операцией перед поиском стратегии проведения грузовых операций является выбор перечня трюмов, в которые планируется размещение груза, что и является темой настоящей публикации.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. Проблеме обеспечения надлежащего уровня мореходной безопасности судов посвящены работы [1-6], причем в работах [1, 2] изложены фундаментальные принципы обеспечения мореходной безопасности судов, работы [3, 4] содержат вопросы проведения безопасных грузовых операций навалочных судов. В работе [5] рассмотрены общие принципы оптимизации грузовых операций навалочных судов, а в работе [6] изложены основные вопросы их эксплуатации.

Однако в существующих литературных источниках, посвященных обеспечению мореходной безопасности навалочных судов, как и в судовой грузовой документации, отсутствуют рекомендации по выбору стратегии проведения грузовых операций для нестандартных вариантов, даже в части определения перечня трюмов судна для приема груза.

Формулировка целей статьи (постановка задачи). Целью статьи является повышение мореходной безопасности навалочных судов путем разработки способа выбора такого перечня трюмов балкера при приеме груза с малым значением удельного погрузочного объема, который минимизирует их суммарный неиспользованный объем с целью снижения риска смещения груза при перевозке.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов. Начальными известными данными являются набор всех трюмов судна $H_o = (V_i, W_{\max i})$ с учетом объема V_i и максимального допустимого количества груза $W_{\max i}$, заданное к приему количество груза G_c и удельный погрузочный объем груза γ . Задача заключается в формировании подмножества Mn_{\max} минимальных по числу наборов трюмов, которые могут вместить исходное количество груза G_c и используются для формирования допустимых стратегий загрузки судна. Для этого рассчитывается максимальное по грузоподъемности количество груза каждого из трюмов судна $W_{\text{exi}} = V_i/\gamma$ и сравнивается с максимально-допустимым значением $W_{\max i}$ по местной прочности.

Меньший из них принимается максимальным количеством груза W_{pi} , который можно погрузить в i -й трюм судна, т. е. $W_{\text{pi}} = \min(W_{\text{exi}}, W_{\max i})$. После этого необходимо упорядочить значения W_{pi} по убыванию веса. В итоге формируется упорядоченный по весу груза набор трюмов $\{W_{\text{pi}}\}$, из которого выделяются минимальное число n_{\min} членов W_{pi} , суммарный вес которых равен или больше веса принимаемого груза G_c , т.е. $\sum_{i=1}^{n_{\min}} W_{\text{pi}} \geq G_c$. Трюма судна, соответствующие весам W_{pi} , образуют основной упорядоченный набор $\{W_{\text{pi}}\}_{\max}$. Дополнение этого набора до $\{W_{\text{pi}}\}$ обозначим $\{\overline{W}_{\text{pi}}\}_{\max}$.

Очевидно, помимо набора $\{W_{\text{pi}}\}_{\max}$ существуют и другие наборы трюмов числом n_{\min} , позволяющие вместить груз G_c , которые образуют множество Mn_{\max} , причем основной упорядоченный набор $\{W_{\text{pi}}\}_{\max}$ является центральным элементом этого множества.

Новые элементы подмножества можно получить, замещая в основном наборе $\{W_{\text{pi}}\}_{\max}$ один из трюмов другим трюмом, взятым из дополнения $\{\overline{W}_{\text{pi}}\}_{\max}$. Общий вес груза набора $\{W_{\text{pi}}\}_{\max}$ обозначим G_w . Основным условием принадлежности произвольного набора размерностью n_{\min} подмножеству Mn_{\max} является превосходство суммарного веса набора G_w над весом заданного груза G_c , т. е. $G_w \geq G_c$. Если в основном наборе $\{W_{\text{pi}}\}_{\max}$ замещается только один трюм из дополнения $\{\overline{W}_{\text{pi}}\}_{\max}$, то такое замещение

будем называть однократным. Очевидно, в общем случае возможны замещения вышей кратности, когда производится замещение одновременно нескольких трюмов основного набора $\{W_{pi}\}_{n_{max}}$ из дополнения $\{\overline{W}_{pi}\}_{n_{max}}$.

Рассмотрим вначале однократное замещение, и найдем условие допустимости замещения i -го трюма основного набора $\{W_{pi}\}_{n_{max}}$ j -м трюмом дополнения $\{\overline{W}_{pi}\}_{n_{max}}$. Так как последовательность членов основного упорядоченного набора $\{W_{pi}\}_{n_{max}}$ является неубывающей и содержит n_{min} наибольших членов, то вес груза G_w является наибольшим из весов G_{wi} всех возможных наборов подмножества $Mn_{n_{max}}$.

Допустим, производим однократное замещение последнего трюма набора $\{W_{pi}\}_{n_{max}}$, вес груза которого W_{pnmn} , произвольным трюмом из дополнения с весом W_{pj} . Вес исходного набора можно записать следующим соотношением:

$$\sum_{i=1}^{nm-1} W_{pi} + W_{pnmn} = G_w ; \quad G_w - G_c = \Delta G_w \geq 0,$$

поэтому справедливо соотношение:

$$\sum_{i=1}^{nm-1} W_{pi} + W_{pnmn} = G_c + \Delta G_w. \quad (1)$$

В свою очередь, после замещения вес груза G_{wi} нового набора трюмов $\{W_{pi}\}_{n_{max}/[nmn,j]}$ определяется выражением:

$$\sum_{i=1}^{nm-1} W_{pi} + W_{pj} = G_c + \Delta G_{wi}, \quad (2)$$

где $\Delta G_{wi} = G_{wi} - G_c$, причем ΔG_{wi} может быть как положительным, так и отрицательным.

Вычтем из уравнения (2) уравнение (1):

$$W_{pj} - W_{pnmn} = \Delta G_{wi} - \Delta G_w,$$

или $\Delta G_{wi} = \Delta G_w - (W_{pnmn} - W_{pj})$. Замещение является допустимым, если $\Delta G_{wi} \geq 0$, т.е., как следует из последнего уравнения, $\Delta G_w - (W_{pnmn} - W_{pj}) \geq 0$.

Если обозначить через $\Delta W_{nmn,j}$ разность в весе груза между замещаемыми трюмами, т.е. $\Delta W_{nmn,j} = W_{pnmn} - W_{pj}$, то условие допустимости замещения принимает следующий вид:

$$\Delta G_w \geq \Delta W_{nmn,j}.$$

Если производить замещение произвольного i -го трюма основного набора $\{W_{pi}\}_{n_{max}}$ j -м трюмом дополнения $\{\overline{W}_{pi}\}_{n_{max}}$, то условие допустимости замещения принимает вид:

$$\Delta G_w \geq \Delta W_{i,j},$$

где $\Delta W_{i,j} = W_{pi} - W_{pj}$.

Таким образом, при однократном замещении трюмов операция замещения допустима, если разность ΔG_w веса груза основного упорядоченного набора $\{W_{pi}\}_{n_{max}}$ и заданного груза к погрузке не меньше разности весов $\Delta W_{i,j}$ грузов трюма, который замещают и трюма, которым замещают.

Для формирования элементов подмножества $Mn_{n_{max}}$ базовых наборов трюмов с помощью операции замещения существенно знать, каким количеством убывающих по величине элементов дополнения $\{\overline{W}_{pi}\}_{n_{max}}$ (последовательностью) может быть замещен i -й элемент основного набора $\{W_{pi}\}_{n_{max}}$. Если производить замещение элементов в очередности их расположения в дополнении $\{\overline{W}_{pi}\}_{n_{max}}$ (по убыванию весов груза трюмов), начиная с $W_{p_{n_{mn}+1}}$, то последовательность $W_{p_{n_{mn}+1}}, \dots, W_{p_{n_{mn}+k}}$ ($k > 1$) элементов, удовлетворяющих условию допустимости замещения i -го элемента можно найти следующим образом.

Элемент $W_{p_{n_{mn}+k}}$ в данной последовательности должен последним из $\{\overline{W}_{pi}\}_{n_{max}}$ удовлетворять условию допустимости замещения, а следующий за ним $W_{p_{n_{mn}+k+1}}$, первым из оставшихся в последовательности дополнения, не соответствует этому условию. Поэтому конечный элемент допустимой последовательности замещения $W_{p_{n_{mn}+k}}$ находится, как предыдущий к элементу $W_{p_{n_{mn}+k+1}}$, для которого первым из последовательности справедливо неравенство $W_{pi} - W_{p_{n_{mn}+k+1}} < \Delta G_w$.

Подмножество $Mn_{n_{max}}(1)$ множества $Mn_{n_{max}}$, которое полученное однократным замещением, содержит, в свою очередь, подмножества $Mn_{n_{max}}(1)_i$, каждое из которых является результатом замещения i -го элемента основного набора $\{W_{pi}\}_{n_{max}}$ элементами дополнения $\{\overline{W}_{pi}\}_{n_{max}}$, т. е.:

$$Mn_{n_{max}}(1) = \{Mn_{n_{max}}(1)_1, \dots, Mn_{n_{max}}(1)_i, \dots, Mn_{n_{max}}(1)_{n_{max}}\}.$$

Обращаем внимание, что наборы трюмов минимальной размерности, составляющие множество $Mn_{n_{max}}$, являются наиболее предпочтительными, так как обеспечивают размещение груза в минимально возможном количестве трюмов. Это обстоятельство ведет к тому, что трюма

оказываются максимально наполненными и снижается риск смещения груза при перевозке. Из этих соображений необходимо выбирать базовый набор трюмов $\min H_{bnmaxi}$, для которого разность $\Delta G_{wi} = G_{wi} - G_c$ минимальна. Затем в каждом подмножестве $Mn_{mmax}(1)_i$ следует выбрать такие наборы $\min H_{bnmaxi}$, наименьший из которых $\min H_{bnmaxi}(1)$ принимается наиболее предпочтительным в подмножестве $Mn_{mmax}(1)_1$ для построения стратегии загрузки судна.

Формирование базовых наборов трюмов H_{bnmaxi} может быть расширено помимо однократного замещения трюмов замещениями более высокого порядка. Максимальную кратность замещения можно определить следующим образом.

Из формальных соображений при многократных замещениях трюмов основного упорядоченного набора $\{W_{pi}\}_{nmax}$ трюмами из дополнения $\{\bar{W}_{pi}\}_{nmax}$ кратность замещения b (количество одновременно замещаемых трюмов) не может превосходить меньшего из значений n_{min} и $N_h - n_{min}$, т.е. $b = \min(n_{min}, N_h - n_{min})$. С учетом соотношения весов грузов трюмов, задействованных в замещении кратности b можно аналогично однократному замещению записать следующее соотношение, определяющее допустимость замещения:

$$\Delta G_w \geq \sum_{i=1}^b W_{pi} - \sum_{i=1}^b \bar{W}_{pi}, \quad (3)$$

где $\sum_{i=1}^b W_{pi}$ и $\sum_{i=1}^b \bar{W}_{pi}$ – вес груза соответственно в трюмах, которые замещаются, и трюмах, которыми производится замещение.

Анализ выражения (3) показывает, что минимальная разность в правой части неравенства, а, следовательно, и максимальное значение кратности замещения b , достигается, если в $\{W_{pi}\}_{nmax}$ выбираются b последних, а в $\{\bar{W}_{pi}\}_{nmax}$ b начальных трюмов, для которых справедливо соотношение (3), но при $b + 1$ оно не выполняется. Таким образом, начиная с $b = 1$, проверяется истинность соотношения:

$$\Delta G_w \geq \sum_{i=nmn-b}^{nmn} W_{pi} - \sum_{i=nmn+1}^{nmn+1+b} W_{pi}. \quad (4)$$

Если соотношение справедливо значение b увеличивают на 1 и снова производится проверка справедливости неравенства (4), так продолжается до тех пор, пока (4) в первый раз не окажется истинным. Предыдущее значение b как раз и является максимальным.

Определение условий допустимости замещений высшего порядка кратности, производится аналогично однократному варианту. При этом условие допустимости замещения кратности имеет вид:

$$\bigcup_{i=1}^c W_{pi} - \bigcup_{i=1}^c \bar{W}_{pi},$$

где $\bigcup_{i=1}^c W_{pi}$ и $\bigcup_{i=1}^c \bar{W}_{pi}$ – соответственно сумма грузов в трюмах, выбранных для замещения, и в трюмах, которыми намерены произвести замещение.

В дальнейшем, производя замещения высшей кратности, в каждом подмножестве $Mn_{max}(k)$ ($k > 1$) выбирается наиболее предпочтительный базовый

набор трюмов $H_{b_{nmax}}(k)$. Затем следует упорядочить полученные базовые наборы $H_{b_{nmax}}(k)$ ($k=1 \dots b$) по росту разности груза ΔG_{wi} и выбрать в качестве исходного минимальный. В целом объединение всех подмножеств k – кратных замещений $Mn_{max}(k)$ получим подмножество Mn_{max} с распределенной на его элементах мерой ΔG_{wi} , характеризующей их предпочтение по признаку риска возможного смещения груза при перевозке.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению. Таким образом, в статье получен способ выбора перечня трюмов балкера, позволяющий при нестандартных вариантах грузовых операций минимизировать риск смещения груза при его перевозке морем. Полученный результат позволяет в перспективе разработать процедуру формирования стратегии проведения грузовых операций навалочных судов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сизов В. Г. Теория корабля / В. Г. Сизов – Одесса : Феникс, 2003. – 282 с.
2. Воробьев Ю. Л. Гидродинамика судна в стесненном фарватере / Ю. Л. Воробьев – СПб. : Судостроение, 1992. – 224 с.
3. Кацман Ф. М. Теория и устройство судов / Ф. М. Кацман, Д. В. Дорогостайский, А. В. Конов, Б. П. Коваленко – Л. : Судостроение, 1991. – 416 с.
4. Мельник В. Н. Эксплуатационные расчеты мореходных характеристик судна / В. Н. Мельник – М. : Транспорт, 1990. – 142 с.
5. Васьков Ю. Ю. Некоторые вопросы оптимизации грузовых операций навалочных судов / Ю. Ю. Васьков // Судовождение. – 2003. – № 6. – С. 40-45.
6. Павленко Л. В. Особенности эксплуатации балкеров / Л. В. Павленко, Л. А. Козырь – Одесса : Латстар, 2002. – 78 с.

П'ятаков Е.М. ВИБІР ПЕРЕЛІКУ ТРЮМІВ СУДНА ДЛЯ ПРИЙОМУ НАВАЛЮВАЛЬНИХ ВАНТАЖІВ

В роботі розглянуто спосіб вибору набору трюмів балкера для прийому навалювальних вантажів в ситуаціях нестандартних завантажень, які не передбачені в судових вантажних документах. Запропонований спосіб дозволяє виявити набір трюмів, що містять їх мінімальне число, в яке можна розмістити планований до прийому вантаж. Одержані необхідні аналітичні залежності.

Ключові слова: морехідна безпека, вантажні операції балкерів, навалювальні вантажі, мінімальний набір трюмів

Pyatakov E.N. SELECTION OF SHIP HOLDS'S LIST FOR RECEPTION OF BULK CARGOES

There is shown the method of set selection of holds of bulkers for the reception of bulk cargoes in the situations of non-standard loads which are not foreseen in ship loading documents. The offered method allows to expose the set of holds containing their minimum number, in which it is possible to accommodate the cargo planned to the reception. Necessary analytical dependences have been got.

Keywords: nautical safety, freight operations of bulkers, loads, minimum set of holds.