

Васьков Ю.Ю.

ПРИМЕНЕНИЕ СИМПЛЕКС-МЕТОДА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ НАВАЛОЧНОГО ГРУЗА НА БАЛКЕРЕ

Для загрузки балкеров навалочным грузом используются типичные схемы загрузки, которые приведены в грузовой документации судна. Число этапов грузовых операций зависит от удельного погрузочного объема груза и числа одновременно работающих грузовых устройств.

При загрузках, когда производится прием груза с нестандартным удельным погрузочным объемом, для формирования предварительного грузового плана в статье предлагается использование симплекс-метода и приводятся результаты имитационного моделирования.

Ключевые слова: *грузовые операции балкеров, нестандартные загрузки, симплекс-метод.*

Постановка проблемы. Навалочные грузы, для транспортировки которых используются балкеры, составляют значительную часть грузов при морских перевозках. Грузовые и балластные операции балкеров производятся в несколько этапов, причем для каждого стандартного варианта проведения грузовых операций в инструкции по загрузке приводится последовательность этапов загрузки судна в зависимости от удельного погрузочного объема груза.

В случае нестандартных загрузок балкеров возникают трудности с организацией размещения грузов, обеспечивающее мореходную безопасность судов и эффективное использование их грузоподъемности и грузоместимости. В такой ситуации судоводителю приходится самостоятельно формировать стратегию проведения грузовых операций.

Анализ последних достижений и публикаций, выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. В работах [1-3] рассмотрены общие принципы оптимизации грузовых операций навалочных судов при нестандартных загрузках с помощью симплекс-метода. Для проверки корректности метода оптимизации на компьютере проводилось имитационное моделирование размещения на судне груза с заданным удельным погрузочным объемом. Вопросы оптимизации загрузки судов навалочными грузами рассмотрены в работах [4,5].

Формулировка целей статьи (постановка задачи). Целью статьи является рассмотрение симплекс-метода для размещения навалочного груза в трюмах судна при его нестандартных загрузках.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов. Для реализации оптимальной стратегии проведения грузовых операций балкера, т.е. размещения груза в его трюмах, необходимо вначале сформировать множество наборов трюмов, каждый из которых, во-первых, позволяет принять весь предъявленный к перевозке груз и, во-вторых, содержит минимальное количество трюмов (по отношению к другим возможным наборам). На полученном множестве наборов трюмов необходимо ввести отношение предпочтения и выбрать наиболее предпочтительный набор. Затем с помощью симплекс-метода следует сформировать оптимальную стратегию загрузки, соблюдая ограничения, накладываемые требованиями по обеспечению мореходной безопасности.

Для определения возможности безопасной загрузки балкера необходимо воспользоваться полученной в работе [7] аналитической формулировкой такой задачи в терминах теории линейного программирования, которая в данном случае принимает в стандартной форме следующий вид

$$\begin{aligned}
z &= W_1 + W_2 + \dots W_i + \dots W_{N_{mn}} \rightarrow \max, \\
W_1 X_{g1} + W_2 X_{g2} + \dots W_i X_{gi} + \dots W_{N_{mn}} X_{gN_{mn}} + s_1 &= M_{x\max}, \\
W_1 X_{g1} + W_2 X_{g2} + \dots W_i X_{gi} + \dots W_{N_{mn}} X_{gN_{mn}} - s_2 &= M_{x\min}, \\
W_1 Z_{g1} + W_2 Z_{g2} + \dots W_i Z_{gi} + \dots W_{N_{mn}} Z_{gN_{mn}} + s_3 &= M_{z\max}, \\
W_1 Z_{g1} + W_2 Z_{g2} + \dots W_i Z_{gi} + \dots W_{N_{mn}} Z_{gN_{mn}} - s_4 &= M_{z\min}, \\
W_1 + W_2 + \dots W_i + \dots W_{N_{mn}} + s_5 &= G_c, \\
W_1 + s_{o1} &= W_{d1}, \\
W_2 + s_{o2} &= W_{d2}, \\
&\dots\dots\dots \\
W_{N_{mn}} + s_{oN_{mn}} &= W_{dN_{mn}}, \\
W_1, W_2, \dots, W_i, \dots, W_{N_{mn}} \geq 0, \quad s_1, \dots, s_5 &\geq 0, \\
s_{o1}, s_{o2}, \dots, s_{oN_{mn}} &\geq 0,
\end{aligned} \tag{1}$$

где: W_i - количество груза в каждом из трюмов выбранного набора;

X_{gi}, Z_{gi} - координаты центра тяжести груза в i -м трюме;

W_{di} - допустимое количество груза в i -м трюме;

N_{mn} - количество трюмов в наборе.

Величина лимитирующих моментов $M_{x\max}$ и $M_{x\min}$ определяется требованиями по плавучести и посадке судна, а моментов $M_{z\max}$ и $M_{z\min}$ - требованиями по его остойчивости. Специфика конструкции навалочных судов обеспечивает требуемую начальную остойчивость судна, высокий уровень которой может вступать в противоречие с требованиями, лимитирующими критерий ускорения.

Поэтому допустимость выбранного варианта загрузки должна проверяться величиной момента $M_{z\min}$, определяющего максимальную начальную остойчивость судна и моментами $M_{x\max}$ и $M_{x\min}$, лимитирующими величину и знак его крена. В свою очередь, величина моментов $M_{z\max}$, $M_{z\min}$, $M_{x\max}$ и $M_{x\min}$, определяются следующими выражениями:

$$\begin{aligned}
M_{z\min} &= D(Z_m - h_{\max} + dh) - M_{zv} - M_{zs}, \\
M_{z\max} &= D(Z_m - h_{\min} + dh) - M_{zv} - M_{zs}, \\
M_{x\max} &= DX_c - M_{xv} - M_{xs}, \\
M_{x\min} &= M_{x\max} + 100d_{\max} m_d,
\end{aligned} \tag{2}$$

где: d_{\max} и m_d - соответственно максимальный допустимый дифферент на корму и удельный дифферентующий момент на один сантиметр;

M_{zv} , M_{xv} , M_{zs} и M_{xs} - статические моменты соответственно судна порожнем и судовых запасов.

Поэтому условиями, определяющими возможность размещения груза в выбранном наборе трюмов, являются следующие

$$\begin{aligned} M_{x\min} &\leq W_1 X_{g1} + W_2 X_{g2} + \dots W_i X_{gi} + \dots W_{Nmn} X_{gNmn} \leq M_{x\max} \\ M_{z\min} &\leq W_1 Z_{g1} + W_2 Z_{g2} + \dots W_i Z_{gi} + \dots W_{Nmn} Z_{gNmn}. \end{aligned} \quad (3)$$

В приведенные выражения входят значения количества груза W_i в каждом из трюмов, которые перед решением задачи являются неизвестными. Известна только их сумма, равная значению G_c . Поэтому для проверки условия (3) в первом приближении можно считать, что количество груза во всех трюмах набора одинаково, т.е. $W_i = G_c / N_{mn}$. Так как окончательное распределение количества груза по трюмам может отличаться от предполагаемого, то в условии (3) следует расширить диапазон возможных значений анализируемых величин, т. е. уточненное условие записывается следующим образом

$$\begin{aligned} 0,7 M_{x\min} &\leq W_1 X_{g1} + W_2 X_{g2} + \dots W_i X_{gi} + \dots W_{Nmn} X_{gNmn} \leq 1,5 M_{x\max} \\ 0,8 M_{z\min} &\leq W_1 Z_{g1} + W_2 Z_{g2} + \dots W_i Z_{gi} + \dots W_{Nmn} Z_{gNmn}. \end{aligned} \quad (4)$$

Также следует отметить, что при первоначальном допущении равенства груза во всех трюмах координаты центров тяжести X_{gi} и Z_{gi} , рассчитанные с учетом этого допущения, тоже будут отличаться от конечных значений, а так как они входят в исходную задачу (1), то это обстоятельство предполагает итерационный характер ее решения, предполагающий уточнение значений X_{gi} и Z_{gi} . При этом будут уточняться значения количества груза W_i в каждом из трюмов.

Решение задачи предусматривает использование симплекс-метода, согласно которому начальная симплекс-таблица, при допущении $W_i = 0$ для всех трюмов, принимает вид, показанный в табл. 1. В первом столбце таблицы помещены базисные переменные, включающие остаточные и избыточные переменные $s_1, \dots, s_5, s_{o1}, s_{o2}, \dots, s_{oNmn}$. Остальные столбцы, начиная с третьего, содержат коэффициенты при всех переменных из (1), а первая строка содержит коэффициенты целевой функции, которая для симплекс-метода записана в следующем виде

$$z - W_1 - W_2 - \dots W_i - \dots W_{Nmn} = 0.$$

Последний столбец начальной симплекс-таблицы содержит правые части уравнений (1) с учетом последнего выражения для целевой функции.

Для следующей итерации необходимо определить ведущий столбец и строку, причем ведущий столбец определяется минимальным коэффициентом в первой строке таблицы, т. е. в z - уравнении. Так как в нем минимальными являются коэффициенты -1, соответствующие переменным $W_1 \div W_{Nmn}$, то для определенности при первой итерации в качестве ведущего будем выбирать столбец, который характеризует переменную W_1 . Это будет переменная,

вводимая для получения нового базиса. Определение ведущей строки требует вычеркнуть из таблицы те строки, коэффициенты которых в ведущем столбце отрицательны или равны нулю (например, строки, соответствующие $s_{o1}, s_{o2}, \dots, s_{oNm}$). Для каждой из оставшихся строк необходимо найти частное от деления элемента последнего столбца на соответствующий элемент ведущего столбца. Так, для второй строки, соответствующей переменной s_1 , таким отношением является $M_{x\max}/X_{g1}$, для третьей $M_{x\min}/X_{g1}$, для четвертой $M_{z\max}/Z_{g1}$ и т.д.

Таблица 1

Начальная симплекс-таблица

Баз пер	z	W_1	W_2	...	W_{Nm}	s_1	s_2	...	s_5	s_{o1}	s_{o2}	...	s_{oNm}	Решение
z	1	-1	-1	...	-1	0	0	...	0	0	0	...	0	0
s_1	0	X_{g1}	X_{g2}	...	X_{gNm}	1	0	...	0	0	0	...	0	$M_{x\max}$
s_2	0	X_{g1}	X_{g2}	...	X_{gNm}	0	-1	...	0	0	0	...	0	$M_{x\min}$
s_3	0	Z_{g1}	Z_{g2}	...	Z_{gNm}	0	0	...	0	0	0	...	0	$M_{z\max}$
s_4	0	Z_{g1}	Z_{g2}	...	Z_{gNm}	0	0	...	0	0	0	...	0	$M_{z\min}$
s_5	1	1	1	...	1	0	0	...	1	0	0	...	0	G_c
s_{o1}	1	0	0	...	0	0	0	...	0	1	0	...	0	W_{d1}
s_{o2}	0	1	0	...	0	0	0	...	0	0	1	...	0	W_{d2}
...
s_{oNm}	0	0	0	...	1	0	0	...	0	0	0	...	1	W_{dNm}

В качестве ведущей выбирается та строка, найденное отношение которой является минимальным. Например, если отношение $M_{x\max}/X_{g1}$ будет наименьшим, то ведущей будет вторая строка, а исключаемой переменной - s_1 . Ведущим элементом, находящимся на пересечении ведущего столбца с ведущей строкой, для нашего примера является X_{g1} .

Для получения симплекс-таблицы, соответствующей новой итерации, необходимо произвести следующие вычислительные операции метода Гаусса-Жордана. Прежде всего, необходимо найти новую ведущую строку, расположение которой соответствует предыдущей таблице, а каждый из ее новых элементов соответствует старому элементу, деленному на ведущий элемент. Причем в первом столбце вместе базовой переменной s_1 заносится новая переменная W_1 , соответствующая ведущему столбцу. Затем формируются остальные строки, включая z -уравнение, по следующему алгоритму. Каждый новый элемент каждой из строк рассчитывается, как элемент старой строки, от которого отнимается

произведение соответствующего элемента ведущего столбца на соответствующий элемент новой ведущей строки.

В полученной симплекс-таблице снова находят ведущий столбец и ведущую строку, позволяющих получить очередную итерацию. Процедура повторяется таким образом до тех пор, пока в z -уравнении очередной итерации не исчезнут отрицательные коэффициенты. Такая финальная симплекс-таблица соответствует конечному решению, где в перечне базовых переменных (первый столбец) фигурируют переменные $W_1 \div W_{N_{mn}}$, а их искомые значения находятся в соответствующих местах последнего столбца «Решение», причем последний элемент, соответствующий z -уравнению, представляет собой максимальное количество принимаемого груза, которое не превосходит заданное G_c .

Следует отметить, что полученное распределение груза по трюмам рассматриваемого набора следует также проверять по соответствию требованиям общей продольной прочности.

Указанная циклическая процедура поиска значений $W_1 \div W_{N_{mn}}$ дает их первое приближение, по которому вычисляются уточненные значения координат центра тяжести груза в каждом из трюмов. Затем процедура повторяется, как второе приближение, позволяющее получить уточненные значения $W_1 \div W_{N_{mn}}$. Как показали расчеты на ЭВМ, число приближений не превосходит трех.

Полученное таким образом допустимое конечное состояние загруженного судна создает предпосылки для формирования стратегии проведения загрузки судна, включающей конечное число этапов приема груза и сдачи балласта, которое в значительной мере определяется количеством одновременно загружаемых трюмов N_{eq} . Если число одновременно загружаемых трюмов N_{eq} равно числу трюмов N_{mn} исходного набора, то существует только один этап, который переводит судно из начального в конечное допустимые состояния.

Предложенный в работе метод позволяет генерировать загрузки судна грузом, удельный погрузочный объем которого отличен от стандартных загрузок, а количество является произвольным. Для проверки такой возможности с помощью имитационной модели было произведено формирование загрузок судна полным грузом для значений удельного погрузочного объема равных 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, 1,2, 1,3, 1,5, 1,6, и 1,7.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению. Показано использование симплекс-метода для формирования предварительного плана в случае нестандартных загрузок судна навалочным грузом, обеспечивающего прием максимального количества груза при соблюдении требований мореходной безопасности.

Анализ результатов имитационного моделирования показал, что для всех рассмотренных значений удельного погрузочного объема существуют допустимые варианты загрузки в минимальные наборы трюмов. Причем для загрузки с удельным погрузочным объемом 0,80 существует шесть допустимых вариантов, а для значения удельного погрузочного объема 0,90 – три варианта.

В дальнейшем перспективным направлением является исследование вопросов оптимальной загрузки специализированных судов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сизов В. Г. Теория корабля/ Сизов В.Г. – Одесса: Феникс, 2003. – 282 с.
2. Воробьев Ю. Л. Гидродинамика судна в стесненном фарватере / Воробьев Ю.Л. – 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 / Мельник В.Н. – М.: Транспорт, 1990. – 142 с.

-
5. Васьков Ю. Ю. Некоторые вопросы оптимизации грузовых операций навалочных судов/ Васьков Ю.Ю. // Судовождение. – № 6. – 2003. – С. 40-45.
 6. Цымбал Н. Н. Формирование оптимизационной задачи проведения грузовых операций навалочных судов/ Цымбал Н.Н., Васьков Ю.Ю. // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып.7. – Одесса: Латстар, 2004. – С. 3-10.
 7. Васьков Ю. Ю. Оптимизация грузовых операций навалочных судов. А-реф. канд. техн. наук. Одесская национ. морск. академия. – Одесса, 2005. – 24 с.

Васьков Ю.Ю.

ЗАСТОСУВАННЯ СИМПЛЕКС-МЕТОДУ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗМІЩЕННЯ НАВАЛЮВАЛЬНОГО ВАНТАЖУ НА БАЛКЕРІ

Для завантаження балкерів навалювальним вантажем використовуються типові схеми завантаження, які приведені у вантажній документації судна. Число етапів вантажних операцій залежить від питомого вантажного об'єму вантажу і числа одночасно працюючих вантажних пристроїв.

При завантаженнях, коли приймається вантаж з нестандартним питомим вантажним об'ємом, для формування попереднього вантажного плану в статті пропонується використання симплекс-методу і наводяться результати імітаційного моделювання.

Ключові слова: вантажні операції балкерів, нестандартні завантаження, симплекс-метод.

Vaskov Y.

APPLICATION OF SIMPLEX-METHOD FOR FORMING OF OPTIMUM PLACING OF CARGO ON THE DRY BULK CARRIERS

Cargo plans for dry bulk carriers are normally covered by the range of the typical cargo distribution conditions provided in the ship loading manuals, number of steps in the loading operations being dependent on the cargo stowage factor and the number of simultaneously working cargo loaders.

Author applies simplex method to outline the preliminary cargo plan for the cases of loading bulk cargoes with uncommon stowage factor and provides results of the produced simulation modeling.

Keywords: bulk carrier cargo operations, uncommon loading conditions, simplex method.

УДК 656.61.052

Волков А.Н.

ПРИМЕНЕНИЕ СУДОВОЙ БЕЗОПАСНОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ УЧЕТА ОПАСНОЙ ЦЕЛИ И НАВИГАЦИОННОГО ПРЕПЯТСТВИЯ

В статье показана возможность отображения судовой безопасной области из пространства относительного движения в пространство истинного движения, т.е. на электронную карту для совместного учета опасных целей и навигационных опасностей.

Получены аналитические выражения для преобразования границы области, приведены результаты имитационного моделирования безопасных областей судна различной формы.

Ключевые слова: безопасность судовождения, безопасная область судна, пространство относительного и истинного движения.