

УДК 656.61:519.673

MODELLING OF THE VESSELS ASSIGNED TO THE ROUTE SCHEMES

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАКРЕПЛЕНИЯ УНИВЕРСАЛЬНЫХ СУДОВ ЗА СХЕМАМИ ДВИЖЕНИЯ

D. Vishnevskiy¹, *assistant*, O. Vishnevskaya², *senior lecturer*

Д.О. Вишневский¹, *ассистент*, О.Д. Вишневская² *старший преподаватель*,

¹ ONMU 1, Ukraine

¹ ОНМУ 1, Украина

ABSTRACT

Universal (multipurpose) vessels - are among the most important types of specialized vessels in the world merchant fleet. The constructional specificity of this category of vessels - availability of its own cargo handling equipment, stipulates the multifunctionality and versatility of these vessels within the range of maritime transportation of a wide nomenclature of goods, including those between the ports and port stations, where there is no specialized handling equipment.

Nowadays, the sizes of universal vessels are varying from 3,000 - 35,000 tons of deadweight or more. To replace tween-deck vessels, new vessels with movable decks are coming - such a variety of sizes and designs enable to utilize such vessels in carrying general cargoes in small batches, and oversized cargoes intended for large-scale construction projects.

Despite the considerable volumes of containerization and the development of container lines, analysis of the market of maritime transportation has shown that the demand of universal vessels is sufficiently stable both in the tramp and the linear section of carriages.

Keywords: containerization, universal and tween-deck vessels, tramp and linear transportation, deadweight, cargo handling equipment, general cargo.

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

Практически все современные научные исследования, посвященные организации работы судов на международных линиях, не рассматривают универсальные суда. Существующая теоретическая и методическая база советского периода, когда универсальные суда составляли значительный сегмент в структуре морского торгового флота, ориентирована на плановую экономику. Поэтому она требует развития и адаптации к рыночным условиям.

Таким образом, вопросы, связанные с организацией работы универсальных судов на международных линиях, являются актуальными.

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

Одним из первых фундаментальных трудов, в котором исследовались вопросы, связанные с эффективностью контейнерных линий, является труд [1] Кендалла П.

Теоретическая база организации работы судов в линейной форме судоходства сформулирована в трудах Панарина П.Я. [2-4], в частности, составлена классификация линий; определены минимально допустимые объемы грузопотоков, для организации линии; сформулирован методический подход к составлению расписания и др.

Среди современных публикаций, посвященных вопросам работы судов на международных линиях, следует отметить работы Кирилловой Е.В. [5,6,8], и Кириллова Ю.И. [7], в которых рассмотрена организация работы судов типа ро-ро, паромов и контейнеровозов как элементов соответствующих транспортно-технологических систем.

Отдельным вопросам, связанным с обеспечением эффективности контейнерных линий, посвящены публикации [9,10].

Организация работы универсальных судов является многоэтапной проблемой, один из элементов которой – закрепление судов за сформированными схемами движения [11-13]. Работы, которые были посвящены данному вопросу ориентированы на балкерные суда, поэтому не учитывают специфику грузовой базы универсальных судов.

Формулирование целей статьи (постановка задачи)

В связи с вышесказанным, целью данной статьи является формирование инструментария в виде экономико-математической модели решения задачи закрепления универсальных судов за схемами движения с учетом специфики их грузовой базы.

Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

В научной литературе советского периода для отечественного морского флота были разработаны экономико-математические модели, которые позволяли выбирать оптимальные схемы и закреплять за ними суда, но данные модели ориентированы на плановую экономику, и могут применяться для «рынка продавца», то есть при превышении спроса над провозной способностью флота, причем, при определенной адаптации и доработки.

Те модели, которые разрабатывались в тот же период для «рынка потребителя», отличались лишь знаками ограничений без учета сущности работы линейного сервиса в условиях «рынка потребителя». Так, например, не учитывалась неполная загрузка судов при работе по схемам и возможности ее дальнейшего уменьшения под влиянием рыночных изменений. При этом полагалось, что суда совершают столько рейсов, сколько для этого представлено груза к перевозке.

Тем не менее, специфика современного линейного сервиса состоит в том, что суда работают по расписанию в рамках указанной схемы вне зависимости от того – полная загрузка судна или нет. Естественно, что при весьма значительном падении спроса линейный сервис перестает функционировать, или переходит на меньшее количество судов, а, следовательно, уменьшается частота отправок (например, от раз в неделю, до раз в две недели), или же корректировке подлежит схема линейного сервиса (множество портов захода).

Учитывая все вышесказанные замечания и условия, сформируем экономико-математическую модель выбора оптимальных схем линейного сервиса и расстановки по ним судов.

На базе результатов анализа грузопотоков и отбора перспективных направлений перевозок, формируются возможные варианты схем работы судов по сложившимся правилам.

С учетом портов захода для каждой схемы может быть сформировано множество $\{ Q_r^j, r \in G_j \}$, где r – вид груза, Q_r^j – прогнозируемое количество груза, предъявляемого к перевозке, G_j – множество видов груза, актуальных для схемы $j = \overline{1, n}$.

На этапе формирования состава флота для рассматриваемого региона работы сформировалось множество судов $\{ K \}$, при этом, $K = K^c \cup K^{t-ch}$, то есть суда принадлежат компании K^c или взяты в тайм-чартерную аренду K^{t-ch} . Присвоим каждому судну порядковый номер $i = \overline{1, m}$.

Взаимосвязь основных факторов, влияющих на эффективность работы универсального судна на линии, представлены на рис.1.

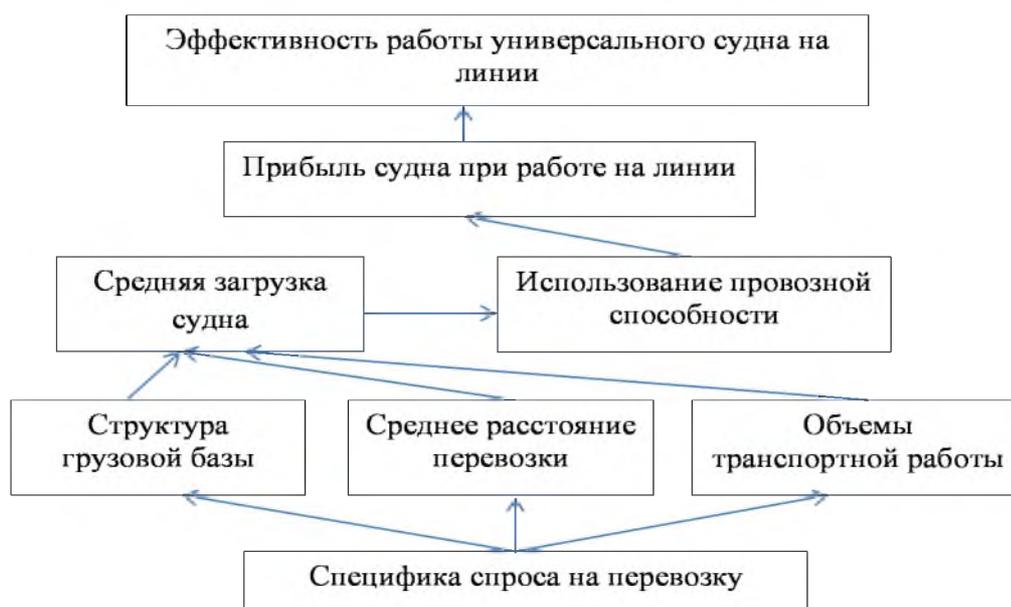


Рис.1. Взаимосвязь основных факторов, влияющих на эффективность работы универсального судна на линии

При однородной загрузке судна (одним видом груза), которая, как правило, использовалась в большинстве существующих моделей по планированию работы флота, величина загрузки определяется по известным формулам – по грузоподъемности или грузовместимости на базе сопоставления транспортной характеристики груза и удельной грузовой вместимости судна.

Однако, для универсального судна работа на линии предполагает комбинированную загрузку, при этом пропорцию различных видов груза можно оценить усреднено, используя в качестве базы объемы спроса на перевозки различных видов груза Q_r^j . Также, оценивая загрузку судна, следует учесть, возможность превышения провозной способности судна P_i^j над суммарным

спросом на рассматриваемой схеме $\sum_{r \in G_j} Q_r^j$, что соответствует сегодняшней ситуации на рынке морских перевозок. В качестве «усредненной» провозной способности P_i^j (то есть без учета конкретного вида груза) можно использовать провозную способность, вычисленную для «среднестатистического» груза со средневзвешенной транспортной характеристикой – удельно-погрузочным объемом:

$$u^j = \sum_{r \in G_j} u_r^j \cdot \frac{Q_r^j}{\sum_{r \in G_j} Q_r^j}, j = \overline{1, n}. \quad (1)$$

u_r^j - удельно-погрузочный объем груза r . Или же P_i^j может быть вычислена следующим образом:

$$P_i^j = \sum_{r \in G_j} P_{ir}^j \cdot \frac{Q_r^j}{\sum_{r \in G_j} Q_r^j}, (j = \overline{1, n}; i = \overline{1, m}), \quad (2)$$

где P_{ir}^j - провозная способность i -го судна по j -ой схеме с r -ым грузом.

Все вышесказанное позволяет в качестве оценки «среднестатистической» загрузки судна на схеме использовать следующую величину:

$$q_i^j = I^{c-n} \cdot \alpha_i^j \cdot \overline{q_i^j}, \quad (3)$$

где $\overline{q_i^j}$ - загрузка судна «среднестатистическим» грузом с учетом полного использования грузоподъемности (для тяжелого груза) или грузовой вместимости (для легкого груза):

$$\overline{q_i^j} = \sum_{r \in G_j} q_{ri}^j \cdot \frac{Q_r^j}{\left(\sum_{r \in G_j} Q_r^j\right)} \quad (4)$$

q_{ri}^j - загрузка судна i -ым грузом с учетом полного использования грузоподъемности или грузоместимости. Отметим, что в (1)-(4) $\frac{Q_r^j}{(\sum_{r \in G_j} Q_r^j)}$ -

доли конкретного вида груза в общем объеме перевозимых (прогнозируемых для перевозки) грузов - выступают в качестве весов для нахождения средневзвешенных величин;

I^{c-n} - коэффициент, отражающий соотношение спроса и провозной способности судна:

$$I^{c-n} = \begin{cases} \frac{P_i^j}{(\sum_{r \in G_j} Q_r^j)}, \text{ если } P_i^j \geq (\sum_{r \in G_j} Q_r^j) \\ 1, \text{ если } P_i^j < (\sum_{r \in G_j} Q_r^j) \end{cases}; \quad (5)$$

α_i^j - коэффициент, учитывающий соотношение среднего расстояния перевозки грузов на схеме к протяженности схемы, - аналог коэффициента использования грузоподъемности судна:

$$\alpha_i^j = \frac{\sum_{r \in G_j} Q_r^j \cdot l_r^j}{P_i^j \cdot L^j} \quad (6)$$

l_r^j - средняя дальность перевозки груза r на схеме j , L^j - протяженность схемы j .

Отметим, что предлагаемый подход базируется на обобщенных и усредненных характеристиках в виду невозможности на данном этапе планирования оперировать более точной информацией.

Также подход не акцентирует внимание на участках схем, учет участков осуществляется на этапе подготовки информации о средней дальности перевозки груза l_r^j . Кроме того, в дальнейшем информация по участкам схем используется для нахождения эксплуатационных расходов и вычисления движущей и стояночной составляющей тарифов.

Расчетный пример представлен в приложении.

После оценки усредненной загрузки судов на схеме, формируем экономико-математическую модель выбора оптимальных схем и расстановки судов.

Параметр управления $x_{ij} = \{0, 1\}$ - булева переменная - работа i -го судна на j -ой схеме. В качестве критерия оптимизации в задачах подобного рода

традиционно используется прибыль от работы судов на схемах линейного сервиса, которая в данном случае будет иметь следующий вид:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (f_{ij} - r_{ij}^{эксн}) \cdot x_{ij} - (\xi_i \cdot r_i^{t-ch} \cdot T_i^{t-ch} - \delta_i \cdot r_i^{носм}) \cdot \sum_{j=1}^n x_{ij} \rightarrow \max, \quad (7)$$

где $r_{ij}^{эксн} = N_{ij} \cdot r_{ij}^{экснл-p}$ - переменные эксплуатационные затраты i -го судна на j -ой схеме, N_{ij} - количество круговых рейсов i -го судна на j -ой схеме, $r_{ij}^{экснл-p}$ - эксплуатационные переменные расходы судна за рейс;

r_i^{t-ch} - ставка тайм-чартера i -го судна, T_i^{t-ch} - период тайм-чартера i -го судна;

$r_i^{носм}$ - годовые постоянные затраты по i -му судну;

Вспомогательные параметры:

$$\xi_i = \begin{cases} 1, i \in K^{t-ch} \\ 0, i \in K^c \end{cases}, \quad \delta_i = \begin{cases} 1, i \in K^c \\ 0, i \in K^{t-ch} \end{cases}$$

позволяют учесть в структуре затрат те позиции, которые соответствуют судам из двух рассматриваемых множеств;

f_{ij} - прогнозируемый доход от работы i -го судна на j -ой схеме. Определение f_{ij} предлагается основывать на вычисленной ранее среднестатистической оценке загрузки судов (3):

$$f_{ij} = I^{c-n} \cdot \alpha_i^j \cdot \overline{f_{ij}} \cdot N_{ij}, \quad (8)$$

$$\overline{f_{ij}} = \sum_{r \in G_j} f_r^j \cdot q_r^j \cdot \frac{Q_r^j}{\left(\sum_{r \in G_j} Q_r^j \right)}, \quad (9)$$

где f_r^j - усредненная плата за перевозку r -го груза на j -ой схеме; f_r^j может быть оценена, исходя из среднего расстояния перевозки r -го груза на j -ой схеме l_r^j , на базе движущейся $f_r^{j-дв}$ и стояночной $f_{rg}^{j-см}$ составляющих тарифа, что может быть выражено следующим образом:

$$f_r^j = f_r^{j-дв} \cdot l_r^j + \sum_{g \in j} f_{rg}^{j-см}, \quad (10)$$

g - порты, принадлежащие j -ой схеме. Таким образом, величина f_{ij} наиболее адекватно, по сравнению с существующими подходами, отражает прогнозируемый доход судов по схемам, так как основана на усредненной загрузке и усредненном тарифе.

Величина $(\xi_i \cdot r_i^{t-ch} \cdot T_i^{t-ch} - \delta_i \cdot r_i^{nocm}) \cdot \sum_{j=1}^n x_{ij}$ можно исключить из целевой функции, потому что она отвечает за расходы, которые не связаны с распределением судов по схемам, кроме того, а количество судов считаем установленным на предыдущем этапе. Так как i - номер судна, то $\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1$ для каждого i . В рамках рассматриваемой задачи осуществляется только расстановка уже сформированного флота. Поэтому в качестве критерия оптимизации можно использовать откорректированное следующим образом выражение (10):

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (f_{ij} - r_{ij}^{эксн}) \cdot x_{ij} \rightarrow \max, \quad (11)$$

а остальные виды затрат расходы будем использовать в рамках ограничения по финансовому результату работы судов:

$$\sum_{j=1}^n (f_{ij} - r_{ij}^{эксн}) \cdot x_{ij} - (\xi_i \cdot r_i^{t-ch} \cdot T_i^{t-ch} - \delta_i \cdot r_i^{nocm}) \cdot \sum_{j=1}^n x_{ij} \geq \Pi_i^{\min}, (i = \overline{1, m}), \quad (12)$$

где Π_i^{\min} - минимально допустимая прибыль для судна.

После учета минимально допустимых границ финансового результата, формирование экономико-математической модели завершается ограничениями по спросу на схемах линейного сервиса:

$$\sum_{i=1}^m P_i^j \cdot x_{ij} \leq \sum_{r \in G_j} Q_r^j, (j = \overline{1, n}). \quad (13)$$

С учетом знака в (12), если суммарная провозная способность судов выше чем объем транспортной работы, то «лишние» суда не будут участвовать в обслуживании схем, что позволит откорректировать полученные на предыдущем этапе данные.

Таким образом, экономико-математическая модель (11), (12), (13), позволяет выбрать из множества вариантов схем линейного сервиса оптимальные и одновременно закрепить за ними суда.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Состав флота и набор перспективных направлений являются базой для выделения участков перевозок, из которых формируются альтернативные схемы работы судов. Поэтому возникает необходимость закрепления судов за схемами. В качестве инструментария решения данной задачи разработана экономико-математическая модель. Спецификой ее является учет «усредненной» загрузки универсальных судов по схемам, и на ее основе – финансового результата. Представленный подход учитывает композитную загрузку универсальных судов с учетом структуры спроса, превышения предложения над спросом, а также дальность перевозки каждого вида груза, что наиболее адекватно, по сравнению с существующими подходами, отражает сущность и условия работы универсальных судов на международных линиях.

Представленные результаты являются элементом методической базы процессов организации работы универсальных судов в линейном секторе судоходства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kendall P. M. H. A theory of optimum ship size / P. M. H. Kendall // *Journal of Transport Economics and Policy*. – 1972. – № 1 (2). – P. 128-146.
2. Панарин П. Я. Организация работы линейного флота / П. Я. Панарин. – М.: Трансп., 1980. – 192 с.
3. Панарин П. Я. Система моделей оптимизации линейного судоходства / П. Я. Панарин // *Экономика и эксплуатация морского транспорта: сб. науч. тр. Одес. ин-та инженеров мор. флота*. – М.: ЦРИА «Морфлот», 1978. – Вып. 14. – С. 14-18.
4. Панарин П. Я. Международное линейное судоходство / П. Я. Панарин, Я. А. Горшков // *Методи та засоби управління розвитком транспортних засобів: зб. наук. пр. – О.: ОДМУ, 2003. – Вип. 5. – С. 238-252.*
5. Кириллова Е. В. Обоснование оптимального количества грузов в загрузке судна / Е. В. Кириллова // *Методи та засоби управління розвитком транспортних систем: зб. наук. пр. – О.: ОНМУ, 2006. – Вип. 11. – С. 142-153.*
6. Кириллова Е. В. Организация и управление работой морских судов в ролкерной транспортно-технологической системе: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01 / Е. В. Кириллова; ОНМУ. – О., 2004. – 184 с.
7. Кириллов Ю. И. Организация та управління роботою суден в контейнерній транспортно-технологічній системі: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.01 / Ю. И. Кириллов; Одес. нац. мор. ун-т. – О., 2013. – 24 с.
8. Кириллова Е. В. Формализация и систематизация критических и оптимальных величин показателей работы судна / Е. В. Кириллова, Ю. И. Кириллов // *Методи та засоби управління розвитком транспортних систем: зб. наук. пр. – О.: ОНМУ, 2008. – Вип. 13. – С. 165-198.*
9. Лапкина И.А. Определение оптимальной эксплуатационной скорости судов-контейнеровозов при изменении объемов перевозок на линии // *Зб. наук. праць Одеського національного морського університету. Серія «Методи та засоби управління розвитком транспортних систем»*: зб. наук. праць: статті / И.А. Лапкина, О.В. Акимова. – Одеса, 2011. № 18. – С. 165 – 181.
10. Савельева И. В. Анализ тенденций роста контейнеризации как важного фактора развития мировой торговли / И. В. Савельева // *Ринкова економіка: Сучасна теорія і практика управління: зб. наук. пр. – О.: ОНУ, 2009. – Вип. 25. – Т. 12. – Ч. 1. – С. 204-218.*

11. Appelgreen L. H. Column Generation Algorithm for Vessel Scheduling Problem / L. H. Appelgreen // *Transportation Sci.* – 1969. – Vol. 3. – № 1. – P. 53-88.
12. Brown G. Scheduling ocean transportation of crude oil / G. Brown // *Management science.* – 1987. – № 33. – P. 335-346.
13. Johnson S. M. Optimal two- and three-stage production schedules with setup times included / S. M. Johnson. – *Naval Res. Log. Quart.* – 1954. – P. 61-68.