

УДК 658.011.2:656.615.004.17

А.Р. Магамадов, И.В. Савельева, С.С. Русанова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ПОРТОВ В ВЕКТОРНОЙ ФОРМЕ

В статье отражена эволюция теоретических взглядов на проблему количественного определения пропускной способности портов. Показано, что задача исчисления этого параметра является в общем случае неопределенной. Обосновывается подход к устранению указанной неопределенности с использованием средств экономико-математического моделирования производственных процессов. Приводится постановка задачи расчета пропускной способности портов в векторной форме.

Ключевые слова: пропускная способность (ПС), порт, задача исчисления ПС и ее неопределенность, моделирование задачи определения ПС портов в векторной форме.

У статті відображено еволюцію теоретичних поглядів на проблему кількісного визначення пропускної спроможності портів. Показано, що задача вирахування цього параметру є у загальному випадку невизначеною. Обґрунтовується підхід до виключення вказаної невизначеності з використанням арсеналу економіко-математичного моделювання виробничих процесів. Наводиться постановка завдання розрахунку пропускної спроможності портів у векторній формі.

Ключові слова: пропускна спроможність (ПС), порт, завдання розрахунку ПС та її невизначеність, моделювання завдання визначення ПС портів у векторній формі.

The article reflects the evolution of theoretical perspectives on the problem of quantifying the capacity of ports. The problem of calculation of this parameter is uncertain in general. It is shown, that elimination of this uncertainty is possible with the use of economic-

© Магамадов А.Р., Савельева И.В., Русанова С.С., 2012

mathematical modeling of industrial processes. We formulate the problem of calculating the capacity of ports in vector form.

According to the results of the analytical review of existing methods for quantifying the capacity of the ports the conclusion is as follows: problem is still not solved due to the orientation of the researchers on the elaboration of only single particular case of the problem – with respect to the traffic, uniformed by commodity and complexity of the handling.

At the same time it is shown that the transition to the analysis of problems in the more general setting – for heterogeneous (multi-commodity) traffic – is possible in principle, subject to overcome the 'curse of uncertainty' of the problem of calculation of capacity, i.e. by exclusion the situation when solutions are infinite.

To remove this uncertainty in the article it is suggested to use the problem definition extension method together with its problem decomposition and formation of the inter-related tasks, providing mutual consistency between traffics and berths (meaning establishing the initial version of the technological specialization of berths), the calculation of the berths capacity by each commodity, distribution of traffic between the berths. As a result, the procedure is carried under the scheme, which combines elements of optimization (the distribution of traffics) and information (the formation of berths specialization options and calculation of their capacity).

The solution of this complex tasks is completed by finding the optimal plan of the distribution of a given set of traffic between the berths. The summation of the components of the plan for all cargo flows at all berths determines the handling capacity of the port in vector form.

Keywords: capacity, port, a problem of capacity calculation and its uncertainty, modeling a problem of determination of ports capacity in a vector form.

Постановка проблемы. В теории эксплуатации морского транспорта показано, что результативность его работы решающим образом зависит от уровня использования провоз-

ной способности флота и пропускной способности портов. Вследствие этого оба параметра имеют принципиальное значение для постановки ключевых проблем обеспечения эффективного функционирования и развития как морской отрасли в целом, так и ее предприятий. Эти параметры, характеризующие производственную мощность флота и портов, выступают в качестве объективно существующих ограничений на объемы перевозочной и перевалочной работы.

Последнее обстоятельство обуславливает чрезвычайную актуальность проблемы исчисления обсуждаемых параметров как в общетеоретическом плане, так и в рамках конкретно рассматриваемых эксплуатационных задач. Этим также в полной мере объясняется непреходящий интерес исследователей к поиску корректного решения задачи количественного определения пропускной способности портов в общей постановке, чему посвящается настоящая работа.

Обзор последних исследований и публикаций. Обсуждаемая в данной статье проблема имеет более чем вековую историю. Начало ее изучению положено в исследованиях двух знаменитых выпускников водного факультета Санкт-Петербургского института инженеров путей сообщения – В.Е. Тимонова и В.Е. Ляхницкого. Первый из них вошел в историю отечественного транспорта как выдающийся инженер и ученый [1], а второй – как основоположник советской школы портостроения [2]. Обоим выпало также стать блистательными вузовскими педагогами.

В.Е. Тимонову принадлежит приоритет в толковании понятия «пропускная способность порта» (в его терминологии – «грузопроемная способность») и обосновании наиболее рациональных способов ее увеличения [3, 4]. Его идеи получили развитие в исследованиях В.Е. Ляхницкого в увязке с проблемами реконструкции существующих и строительства новых портов [5, 6].

Существенный вклад в решение обсуждаемой проблемы внес будущий министр морского флота СССР с ученой степенью

доктора наук В.Г. Бакаев, который сначала в программной статье [7], а затем в учебнике [8] изложил теоретические основы эксплуатации портов, включая проблему определения их производственной мощности. Отдавая должное этому незаурядному человеку, крупному специалисту и известному ученому, отметим, что его учебник является, по всей видимости, первым в мировом морском образовании фундаментальным пособием для вузов, вызывающим профессиональный интерес и в наше время.

Характеризуя производственную мощность портов, В.Г. Бакаев связывал ее с транспортной мощностью морских путей, которая, по его определению, организационно и технически обеспечивается провозной способностью флота и пропускной способностью портов. Из такой постановки вопроса, в частности, естественно следует вывод о тождественности понятий производственной мощности и пропускной способности портов, однако такого заключения в [7, 8] не содержится. Наоборот, подчеркивается, что понятие «пропускная способность» допустимо связывать лишь с отдельными причалами или группами узкоспециализированных по роду переваливаемых грузов причалов, так как «суммарная пропускная способность порта... никогда не может служить измерителем действительной производственной мощности порта» [8. С.141].

На это же обстоятельство обратил внимание и В.Е. Ляхницкий, указав, что «для порта, состоящего в общем случае из нескольких участков, специализированных по категориям грузов, пропускная способность целого порта может мыслиться только как совокупная пропускная способность этих участков» [9. С. 30], т.е.

$$P_{\Pi} = \{ \sum P_y, \quad (1)$$

где P_{Π} и P_y – пропускная способность соответственно порта и участка;

$\{$ – символ, означающий совокупность вместо равенства.

Из сопоставления высказываний В.Г. Бакаева и В.Е. Ляхницкого видно, что оба они считали недопустимым мыслить пропускную способность портов как сумму пропускных способностей их структурных элементов в случае многономенклатурного грузооборота, однако конструктивного решения этой проблемы не предложили. Не смогли преодолеть это препятствие и другие ученые, изучавшие проблему определения пропускной способности портов в последующие годы [10-12].

Задача исследования. В настоящей работе ставится цель восполнить отмеченный пробел путем обоснования подхода к созданию методики, позволяющей определять пропускную способность портов при любом варианте сочетания номенклатурных и структурных характеристик портового грузооборота, т.е. представлять этот показатель в векторной форме.

Основной материал исследования. Предварительно отметим, что переход к векторной форме представления показателя пропускной способности портов предполагает его определение путем решения соответствующей многовариантной задачи. Такая постановка вопроса стала возможной в 50-60-е годы минувшего века, когда в результате революционного преобразования мировой науки прикладные отрасли знания, включая эксплуатацию портов, обогатились теоретическими представлениями и методическим инструментарием новых на то время теорий – кибернетики, системного анализа, экономико-математического моделирования, исследования операций и др., чего, кстати сказать, не было во времена написания трудов [8, 9].

Понятно, что новые возможности проведения исследований позволили по-новому подойти и к постановке задач портовой эксплуатации, начиная прежде всего с определения грузооборота (загрузки) портов. Стало понятным, что этот показатель следует рассматривать в качестве переменной величины, могущей иметь в общем случае бесчисленное множество решений. Выяснилось также, что этот вывод распространяется и на показатель пропускной способности портов [13].

Хронологически первым в новой постановке исследованием явилась работа [14], в которой была выдвинута идея установления оптимального соотношения между грузооборотом и пропускной способностью портов. Эта идея, получившая теоретическое развитие в [15], долгое время привлекала внимание исследователей, однако лишь через сорок лет была реализована в [16] в привязке к совокупности взаимозаменяемых причалов.

Из анализа работ [14-16] видно, что в них методический аспект проблемы определения пропускной способности и грузооборота портов не затрагивался, возможно, в предположении о допустимости расчета этих показателей при независимом их рассмотрении. Между тем такое допущение в общем случае нельзя признать корректным в силу того, что пропускная способность и грузооборот портов являются взаимозависимыми величинами (обратными функциями на формальном языке). Это означает, что задачи определения каждой из них отличаются неопределенностью, т.е. имеют бесчисленное множество возможных решений.

Для снятия такого рода неопределенности в [13] предложено использовать прием расширения постановки задачи определения пропускной способности портов до границ, позволяющих учесть проявление всех существенных факторов, как это показано в теории системного анализа [17].

Расширение постановки задачи в нашем случае означает обеспечение совместного учета всех влияющих на пропускную способность портов факторов как внутренних (по производственным ресурсам), так и внешних (по грузам и судам), а также совокупного проявления этих факторов. При таком условии объектом рассмотрения становится система «грузы-суда-производственные ресурсы портов», что как раз и обеспечивает возможность расширения постановки задачи. Одновременно предлагаемый подход позволяет представить исходную задачу определения пропускной способности портов в виде комплекса взаимосвязанных локальных (относительно автономных) задач, поддающихся однозначному решению. В [13] показано, что при

этом гарантируется однозначность решения и исходной задачи расчета пропускной способности портов.

Из эксплуатационного содержания указанной исходной задачи следует, что ее локальные задачи должны охватывать:

I. Определение взаимного соответствия грузопотоков и причалов, что позволяет установить исходный вариант технологической специализации последних;

II. Расчет пропускной способности причалов по каждому наименованию грузов;

III. Распределение грузопотоков между причалами по принятому критерию оптимальности.

Перечисленные задачи в совокупности образуют двух-уровневый комплекс, в котором в качестве задачи верхнего уровня логично выделить задачу распределения грузопотоков между причалами. Тогда задачи установления специализации и расчета пропускной способности причалов получают ранг задач нижнего уровня. В итоге процедура решения комплекса задач осуществляется по схеме, сочетающей элементы оптимизации (распределение грузопотоков) и информационного обеспечения (формирование вариантов специализации причалов и расчет их пропускной способности).

Задачи I-III решаются последовательно, начиная с установления исходного варианта специализации причалов порта путем выяснения принципиальной возможности перевалки на каждом из них каждой разновидности грузопотоков.

Величины пропускной способности причалов по видам грузопотоков (Π) рассчитываются по известной формуле

$$\Pi = \frac{QT \sum P}{Q + t \sum P}, \quad (2)$$

где Q – количество груза, которое размещается в расчетном типе судна;

T – бюджет рабочего времени причала;

$\sum P$ – производительность кордонного грузового фронта;

t – затраты времени на выполнение вспомогательных операций по обслуживанию судна.

Найденные по формуле (2) величины пропускной способности причалов по всем грузопотокам удобно свести в таблицу, приведенную ниже, обозначениям в которой соответствуют: i – шифр наименования грузопотока ($i = \overline{1, m}$); j – шифр причала ($j = \overline{1, n}$); Π_{ij} – пропускная способность j -го причала при перевалке i -го грузопотока.

Как видно из таблицы, пропускная способность причалов может однозначно фиксироваться лишь по разновидностям грузопотоков (Π_i), т.е.

$$\Pi_i = \sum_{j=1}^n \Pi_{ij}, \quad i = \overline{1, m}. \quad (3)$$

Таблица

Пропускная способность причалов по родам грузов

Наименование грузопотоков	Пропускная способность причалов					
	1	2	...	j	...	n
1	Π_{11}	Π_{12}	...	Π_{1j}	...	Π_{1n}
2	Π_{21}	Π_{22}	...	Π_{2j}	...	Π_{2n}
...	...	...	...	...	...	...
i	Π_{i1}	Π_{i2}	...	Π_{ij}	...	Π_{in}
...	...	...	...	...	...	...
m	Π_{m1}	Π_{m2}	...	Π_{mj}	...	Π_{mn}

Попытка же определить ее по совокупностям грузопотоков для каждого причала не может дать в общем случае приемлемого результата в силу недопустимости суммирования объемов грузопотоков с различной трудоемкостью переработки.

Для решения задачи III (о распределении грузопотоков между причалами) необходимо располагать, как уже отмечалось выше, экономико-математической моделью, в которой должны быть отражены все упоминавшиеся выше внутренние и внешние условия функционирования портов.

Первые варианты таких моделей были предложены три десятилетия назад и основывались на стандартной распределительной задаче линейного программирования. Позже были разработаны многоиндексные модели распределительного типа, что расширило круг учитываемых условий – факторов [18-21]. Подчеркнем, что во всех случаях ключевым элементом моделей являлось ограничение, в соответствии с которым плановые объемы грузопотоков не должны были превышать пропускную способность порта.

Рассмотрим теперь задачу исчисления пропускной способности портов, опираясь на логику рассуждений, использованных в упомянутых выше публикациях. При этом будем ориентироваться на построение наиболее простой по структуре модели, позволяющей, однако, адекватно отразить в ней практически актуальный содержательный смысл задачи.

Предположим, что к перевалке на причалах порта может быть предъявлено m грузопотоков ($i = \overline{1, m}$) объемом Q_i каждый.

Освоение грузопотоков возможно на n неравноценных в смысле производительности кордонных грузовых фронтов причалах ($j = \overline{1, n}$), бюджет рабочего времени каждого из которых составляет T_j . Предположим далее, что для всех сочетаний грузопотоков и причалов известны значения пропускной способности Π_{ij} , минимальные и максимальные объемы грузооборота (соот-

ветственно $\underline{X}_{ij}$ и $\overline{X}_{ij}$) и прибыльные ставки по перевалке грузов $a_{ij} = a_i - S_{ij}$, где a_i – аккордная ставка по i -му грузопотоку, а S_{ij} – удельная себестоимость перевалки i -го грузопотока на j -м причале. Будем также учитывать, что порт заинтересован в получении прибыли от освоения грузооборота в заранее намечаемой сумме D при полном (на 100 %) использовании бюджета рабочего времени причалов. Задача состоит в обеспечении оптимального распределения грузопотоков между причалами.

Приняв в качестве неизвестных величин (параметров управления) искомые объемы грузопотоков по причалам $\{X_{ij}\}$ и полагая, что целью решения задачи является обеспечение максимального объема грузооборота порта, приходим к следующей экономико-математической модели:

$$Q = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} \rightarrow \max; \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} x_{ij} \geq D; \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^m \frac{1}{\Pi_{ij}} x_{ij} = T_j, \quad j = \overline{1, n}; \quad (6)$$

$$\underline{x}_{ij} \leq x_{ij} \leq \overline{x}_{ij}, \quad i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n}. \quad (7)$$

Условиями этой модели предусматривается: максимизация объема планового грузооборота порта – целевая функция (4); обеспечение некоторой наперед заданной суммы прибыли порта от освоения планового грузооборота (5); требование полного использования бюджета рабочего времени причалов (6); ограничения на минимальные и максимальные объемы перевалки грузов по причалам (7).

В ситуации, когда целью решения задачи является достижение максимальной прибыли порта, в модель вместо выражений (4) и (5) вводятся указанные ниже условия обеспечения максимума прибыли от перевалки всех грузопотоков – целевая функция (8) и ограничения по объемам переваливаемых грузов (9):

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} x_{ij} \rightarrow \max; \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq Q_i, \quad i = \overline{1, m}. \quad (9)$$

В результате реализации моделей (4)-(7) и (8)-(9)-(6)-(7) находится оптимальный план $\{X_{ij}^0\}$, которому соответствуют искомые объемы грузопотоков $i = \overline{1, m}$, закрепляемые за причалами $j = \overline{1, n}$. Суммирование этих величин по формуле (3) определяет пропускную способность порта в векторной форме: $\Pi = \{\Pi_i\}$, $i = \overline{1, m}$, что и является целью решения задачи.

Выводы. Все изложенное выше приводит к следующим заключениям. Во-первых, предложенный подход к определению пропускной способности портов позволяет сформулировать соответствующую задачу в принципиально новой постановке, что является весомым теоретическим результатом. Во-вторых, охарактеризованная постановка задачи имеет безусловный практический смысл для портов, осваивающих многономенклатурные грузообороты. В-третьих, рассмотренный вариант моделирования комплекса задач установления специализации, расчета пропускной способности портов и распределения грузопотоков иллюстрирует лишь сущность трактовки проблемы в системной постановке. Плодотворность такого подхода представляется бесспорной при условии отражения в моделях всех факторов и ус-

ловий принципиального характера. Проведение исследований в таком направлении представляется логичным на следующем этапе проработки проблемы.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Зензинов Н.А. Выдающиеся инженеры и ученые железнодорожного транспорта / Н.А. Зензинов, С.А. Рыжак. – М.: Транспорт, 1990. – С. 159-169.
2. Ляхницкий В.Е. Биографический словарь деятелей естествознания и техники / В.Е. Ляхницкий. – Т.1. – М.: Изд-во «БСЭ», 1958. – С. 548.
3. Тимонов В.Е. Очерк развития Одесского порта / В.Е. Тимонов. – СПб.: Типография МПС, 1886. – 61 с.
4. Тимонов В.Е. Об определении грузопропускной способности портов после периода упадка, вызванного войной и революцией. / В.Е. Тимонов. – Петроград: РИО НКПС, 1922. – 21 с.
5. Ляхницкий В.Е. Пропускная способность торгового порта и меры к ее усилению вообще и, в частности, в русских портах / В.Е. Ляхницкий // Техника и экономика путей сообщения. – 1920. – № 3-4. – С. 59-63.
6. Ляхницкий В.Е. Грузооборот и пропускная способность порта / В.Е. Ляхницкий. – Труды ЛИИВТ. – Вып. 19. – 1952. – С. 3-6.
7. Бакаев В.Г. Эксплуатация морских портов / В.Г. Бакаев // Труды Комиссии торгового мореплавания и морского права. – Вып. 3. – М.: Внешторгиздат, 1934. – С. 3-24.
8. Бакаев В.Г. Организация грузовых работ в морских портах / В.Г. Бакаев. – Л.-М.: Водный транспорт, 1939. – 364 с.
9. Ляхницкий В.Е. Методика определения пропускной способности порта и путей ее увеличения / В.Е. Ляхницкий // Труды ЛИИВТ. – Вып. 21. – 1954. – С. 3-20.

10. Брюм А.И. Морские порты и портовые сооружения / А.И. Брюм и др. – М.: Морской транспорт, 1959. – 520 с.
11. Смирнов Е.В. Методика расчета пропускной способности портов / Е.В. Смирнов. – М.: ЦНИИЭВТ, 1957. – 60 с.
12. Кругленко Н.К. Обзор и анализ современных методов определения пропускной способности причального фронта / Н.К. Кругленко, Н.С. Татаренко // Экономика и эксплуатация морского транспорта. – М.: Транспорт, 1965. – Вып. 2 – С. 67-78.
13. Магамадов А.Р. Методический подход к определению оперативной пропускной способности порта / А.Р. Магамадов // Проблемы развития и интенсификации работы морского транспорта: Сб. научн. тр. Союзморниипроект. – М.: В/О «Мортехинформреклама», 1983. – С.92-96.
14. Горбатый М.М. К вопросам обоснования оптимальных соотношений грузооборота и пропускной способности портов / М.М. Горбатый // Тр. Союзморниипроекта. – М., 1965. – Вып. 7(13). – С. 4-16.
15. Горбатый М.М. Теория и практика оптимизации производственных мощностей морских портов / М.М. Горбатый. – М.: Транспорт, 1981. – 168 с.
16. Малаксиано А.А. О соотношении загрузки и пропускной способности морского грузового фронта совокупности взаимозаменяемых причалов / А.А. Малаксиано, Н.А. Малаксиано // Вісник ОНМУ: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ, 2004. – Вип. 13. – С.144-156.
17. Оптнер С.Л. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем / С.Л. Оптнер. – М.: Советское радио, 1969. – 456 с.

18. Гирина О.Б. Методы определения и анализа использования пропускной способности портов бассейна / О.Б. Гирина. – Автореф. дис. ... канд. экон.наук: Одесский институт инженеров морского флота. – Одесса, 1993. – 20 с.
19. Махуренко Г.С. О месячном планировании погрузо-разгрузочных работ в порту / Г.С. Махуренко, О.Н. Степанов // Вісник ОНМУ: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ. – 2001. – Вип. 6. – С.169-175.
20. Макушев П.А. Методичні основи оптимізації завантаження портів / П.А. Макушев. – Автореф. дис. ... канд. техн. наук: Одеський національний морський університет. – Одеса. – 2003. – 20 с.
21. Малаксиано А.А. Модель загрузки порта / А.А. Малаксиано // Вісник ОНМУ: Зб. наук. праць. – Одеса: ОНМУ. – 2004. – Вип. 14. – С.183-188.

Стаття надійшла до редакції 11.05.2012

Рецензенти:

– доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри «Менеджмент і маркетинг на морському транспорті» Одеського національного морського університету **М.Я. Постан**;

– доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри «Фінанси та банківська справа» Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна **С.В. Каламбет**.