

*Ильченко С.В.,**д. э. н., профессор, заведующий отделом,**Институт проблем рынка и экономико-экологических исследований  
Национальной академии наук Украины**Крук Ю.Ю.,**соискатель,**Институт проблем рынка и экономико-экологических исследований  
Национальной академии наук Украины**Постан М.Я.,**д. э. н., профессор, заведующий кафедрой «Менеджмент и маркетинг»,  
Одесский национальный морской университет*

## РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАВНОВЕСНОГО РЕШЕНИЯ ОЛИГОПОЛИИ НА РЫНКЕ СТИВИДОРНЫХ УСЛУГ В УСЛОВИЯХ СЛУЧАЙНОГО КОЛЕБАНИЯ ГРУЗОПОТОКОВ

**Аннотация.** В статье предложен метод определения равновесного решения олигополии для стивидорных компаний, которые конкурируют между собой за грузопотоки в сфере ценообразования в условиях случайных колебаний грузооборота, основанный на сочетании методов теории фирмы и теории массового обслуживания. Портовые терминалы при этом рассматриваются как обслуживающие системы, в которые прибывают суда для погрузки или выгрузки грузов. Найдены условия равновесия олигополии по Курно и Стэкельбергу с точки зрения максимизации ожидаемой прибыли операторов портовых терминалов в заданном периоде.

**Ключевые слова:** морские порты, стивидорная деятельность, рынок стивидорных услуг, конкуренция, олигополия, случайные колебания грузооборота, теория очередей, равновесие по Курно и Стэкельбергу.

**Постановка проблемы.** В современном судоходстве на фрахтовых рынках наблюдается острая конкурентная борьба за грузопотоки как между судоходными компаниями, так и между операторами портовых терминалов. Структура морской отрасли, которая формируется под действием пяти конкурентных сил М. Портера [1], создает возможность анализа того, как стоимость появляется и распределяется между действующими и потенциальными участниками отрасли. Как отмечается в работе [1], на конкуренцию можно смотреть как на расширенное сотрудничество, а на конкурентов – как на партнеров по развитию рынка.

Хотя в настоящее время теория конкуренции достаточно глубоко развита концептуально, а ее рекомендациями широко пользуются многие корпорации и компании, все же, кроме качественных рекомендаций этой теории, желательно располагать возможностью использовать также количественные методы оценки эффективности конкурентных стратегий. Кроме того, специфика морского бизнеса заключается в том, что он реализуется в условиях повышенного риска, что обуславливает необходимость при разработке конкурентных стратегий, например, операторов портовых терминалов использование методов принятия решения в условиях неопределенности.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Имеющиеся результаты в направлении использования количественных методов в теории конкуренции основаны либо на классической модели Хотеллинга [2], основанной на идее

популяционной динамики, либо на теоретико-игровом подходе. В этом плане, на наш взгляд, целесообразнее шире использовать такой раздел прикладного системного анализа, как исследование операций. В работе [3] продемонстрирована такая возможность для определения равновесного решения задачи распределения грузопотоков между несколькими конкурирующими между собой операторами портовых терминалов. С этой целью была использована классическая модель транспортной задачи математического программирования с несколькими промежуточными перевалочными пунктами для случая ценовой конкуренции между ними.

Из других работ, посвященных применению теории конкуренции на морском транспорте, можно отметить такие [4–9].

Так, в исследовании [5] предложен новый многоуровневый иерархический подход к моделированию олигополистического и конкурентного поведения перевозчиков и их взаимоотношений на транспортной сети морских перевозок. При этом рассматриваются три типа перевозчиков, а именно океанские, наземные перевозчики, операторы портовых терминалов. Эти перевозчики конкурируют друг с другом в области ценообразования и выбора маршрутов перевозки. В терминах теории игр океанские перевозчики выступают как лидеры в олигополии рынка судоходных компаний. В то же время операторы терминалов являются последователями океанских перевозчиков, а также лидерами для наземных перевозчиков. Для максимизации прибыли каждого вида перевозчиков используется равновесное по Нэшу решение олигополии. В работах [6–8] отмечается, что в конкурентной борьбе между портами важную роль в настоящее время играет развитый хинтерланд, а также выполнение портами функции звена транспортно-логистической цепи поставок. В работе [9] отмечается, что основными конкурентообразующими факторами для порта являются:

- партнерские отношения с другими участниками логистической цепи;
- развитая портовая инфраструктура;
- близость к сырьевым и товарным рынкам;
- прилегающая железнодорожная и автомобильная дорожная сеть;
- время прохождения груза через порт;
- количество прямых связей с пунктами доставки грузов;
- высокий уровень фидерного сервиса;

– здоровий клімат в трудових колективах;  
– близькість к внутрешнім водним транспортним коммунікаціям.

**Выделение не решенных ранее частей общей проблемы.**

Анализ существующих литературных источников в области исследования наиболее эффективных конкурентных стратегий портов показывает, что классические методы, основанные на использовании теории игр и теории фирмы, имеют ограниченный характер. Например, они слабо учитывают специфику работы порта, заключающуюся в приеме и грузовой обработке транспортных средств, координации работы смежных видов транспорта в порту, а также объективно существующую неравномерность прибытия транспортных средств, приводящую к колебаниям грузопотоков и соответствующих финансовых результатов работы порта и операторов терминалов.

**Цель статьи** заключается в обосновании возможности применения для моделирования конкуренции между операторами портовых терминалов (ОПТ) наряду с методами теории фирмы [2] методов исследования операций, таких как теория массового обслуживания, стохастическая теория запасов, стохастическая оптимизация. Применение указанных теорий позволяет учесть, во-первых, динамический характер работы портового терминала в заданном интервале времени, а во-вторых, объективно существующую неравномерность прибытия судов на терминалы для погрузки или выгрузки [10].

**Изложение основного материала исследования.**

Для моделирования деятельности стивидорных компаний в портах целесообразно использовать методы, основанные на теории массового обслуживания. Это объясняется тем, что любой портовый терминал можно формализовано описать как некоторую обслуживающую систему, каналами обслуживания которой выступают причалы, а заявками на обслуживание – транспортные средства, прибывающие для погрузки или выгрузки груза. При этом интервалы времени между прибытием судов на терминал и длительностью стоянки судов под грузовыми операциями являются случайными величинами [10].

Для нахождения решения задачи распределения грузопотоков между  $n$  конкурирующими портовыми операторами на терминалах, расположенных в разных портах, вводится в рассмотрение прибыль каждого оператора, получаемого в плановом периоде  $T$ . При этом предполагается, как это обычно делается в теории фирмы [2], что цена за перегрузку 1 т груза линейно убывает с ростом грузооборота терминала. Для  $i$ -го оператора эта прибыль составит:

$$\Pi_i(T) = [p_i - r_i - k_i \sum_{l=1}^n v_l(T) \sum_{j=1}^n \gamma_{lj}] \sum_{j=1}^n \gamma_{ij} v_j(T), i=1,2,\dots,n, (1)$$

где  $p_i$  – максимально возможная цена за перегрузку груза на  $i$ -м терминале;

$r_i$  – эксплуатационные расходы по  $i$ -му терминалу;

$k_i$  – коэффициент, определяющий эластичность спроса на услуги оператора терминала;

$v_i(T)$  – число судов, прибывших на  $i$ -й терминал в интервале времени  $(0, T)$ ;

$\gamma_{ij}$  – чистая грузоподъемность  $j$ -го по счету судна, прибывающего на  $i$ -й терминал.

Обычно при моделировании работы портов принимают гипотезу о пуассоновском характере прибывающих в порт судов, что подтверждается многочисленными статистическими проверками [10]. Поэтому примем, что  $v_i(T)$  является пуассоновским случайным процессом, причем:

$$P\{v_i(T) = k\} = \frac{(\lambda_i T)^k}{k!} e^{-\lambda_i T}, k=0,1,2,\dots, (2)$$

где  $\lambda_i$  – интенсивность потока судов, прибывающих на  $i$ -й терминал. Все пуассоновские потоки судов, прибывающих на портовые терминалы, предполагаются как статистически взаимно независимые.

В отношении случайных величин  $\gamma_{ij}$  сделаем предположение об их взаимной независимости и будем считать, что все они распределены по одному и тому же закону  $G(x)$ .

Выражение (1) отражает стремление  $i$ -го оператора в рассматриваемой олигополии привлечь к себе больший судопоток за счет скидок с базовых размеров платы за перегрузку груза  $p_i$ .

С учетом сделанных предположений можно вычислить математическое ожидание прибыли (1). Например, для дуополии ( $n = 2$ ) с учетом (2) после ряда вычислений, основанных на свойствах математического ожидания, находим [11]:

$$M\Pi_i(T) = (p_i - r_i) \lambda_i g T - k_i \lambda_i T (g^{(2)} + \lambda_i T g^2) - k_i \lambda_1 \lambda_2 T^2 g^2, i=1,2, (3)$$

$$\text{где } g = \int_0^\infty x dG(x) < \infty; g^{(2)} = \int_0^\infty x^2 dG(x) < \infty.$$

Используя выражения (3), можем находить значения интенсивностей потоков судов  $\lambda_i$ , обеспечивающие максимальное значение (3) и приводящие к различным равновесным решениям олигополии, например в смысле Курно или Стэкельберга [2]. Рассмотрим, например, самый простой случай равновесия по Курно, причем будем считать выполненными условия:

$$\frac{\partial \lambda_i}{\partial \lambda_j} = 0, i \neq j. (4)$$

Эти условия выражают собой факт независимости приняты решений друг от друга каждым ОПТ.

Приравняем частные производные функций (3) по параметрам  $\lambda_i, i = 1, 2$ , к нулю, после чего получим систему уравнений:

$$\frac{\partial M\Pi_1}{\partial \lambda_1} = (p_1 - r_1) g T - k_1 T (g^{(2)} + 2\lambda_1 g^2 T + \lambda_2 g^2 T) = 0, (5)$$

$$\frac{\partial M\Pi_2}{\partial \lambda_2} = (p_2 - r_2) g T - k_2 T (g^{(2)} + 2\lambda_2 g^2 T + \lambda_1 g^2 T) = 0.$$

Введем следующие обозначения:

$$q_i = \lambda_i g T, i=1,2.$$

Введенные переменные имеют смысл среднего грузооборота  $i$ -го терминала на промежутке планирования  $T$ . С их помощью систему (5) перепишем в следующем виде:

$$2q_1 + q_2 = \frac{p_1 - r_1 - g^{(2)}}{k_1} g, (6)$$

$$q_1 + 2q_2 = \frac{p_2 - r_2 - g^{(2)}}{k_2} g.$$

Решение этой системы уравнений имеет вид:

$$q_1 = \frac{1}{3} \left( 2 \frac{p_1 - r_1}{k_1} - \frac{p_2 - r_2}{k_2} - \frac{g^{(2)}}{g} \right), (7)$$

$$q_2 = \frac{1}{3} \left( 2 \frac{p_2 - r_2}{k_2} - \frac{p_1 - r_1}{k_1} - \frac{g^{(2)}}{g} \right).$$

Равновесное решение дуополии Курно (7) имеет физический смысл только при выполнении условий:

$$\begin{aligned} 2\frac{p_1-r_1}{k_1} &> \frac{p_2-r_2}{k_2} + \frac{g^{(2)}}{g}, \\ 2\frac{p_2-r_2}{k_2} &> \frac{p_1-r_1}{k_1} + \frac{g^{(2)}}{g}. \end{aligned} \quad (8)$$

Условия (8) являются необходимыми для существования равновесия по Курно в рассматриваемой дуополии. В этом случае каждый оператор получит свою максимальную ожидаемую (то есть среднюю) прибыль.

Более сложный анализ рассматриваемой олигополии предполагает наличие реакции конкурирующих ОПТ при определении оптимальных планов перевозки и перевалки продукции, то есть нарушение всех или некоторых условий (7). Например, в рамках предложенного подхода можно определить равновесное в смысле Стэкельберга решение, когда некоторые из ОПТ считают, что конкуренты будут вести себя как олигополисты Курно.

Рассмотрим случай, когда один или оба ОПТ считают, что конкурент будет вести себя как дуополист Курно. Предположим, что первый ОПТ считает, что второй ОПТ будет реагировать согласно зависимости Курно (6), то есть:

$$q_2 = \frac{1}{2} \left( \frac{p_2-r_2}{k_2} - \frac{g^{(2)}}{g} \right) - \frac{1}{2} q_1, \quad (9)$$

откуда имеем:

$$\frac{\partial q_2}{\partial q_1} = \frac{\partial \lambda_2}{\partial \lambda_1} = -\frac{1}{2}.$$

Максимум функций МП<sub>1</sub> с учетом (9) достигается при таком условии:

$$\begin{aligned} q_1 &= \frac{p_1-r_1}{k_1} - \frac{p_2-r_2}{2k_2} + \frac{g^{(2)}}{2g} \\ q_2 &= \frac{3}{4} \frac{p_2-r_2}{k_2} - \frac{p_1-r_1}{2k_1}. \end{aligned} \quad (10)$$

Тогда результаты для обоих операторов будут зависеть от поведения второго ОПТ. Аналогично, если второй ОПТ, согласно предположению первого ОПТ, пользуется реакцией Курно, то равновесие Стэкельберга для первого оператора дается соотношениями:

$$\begin{aligned} q_1 &= \frac{3}{4} \frac{p_1-r_1}{k_1} - \frac{p_2-r_2}{2k_2} \\ q_2 &= \frac{p_2-r_2}{k_2} - \frac{p_1-r_1}{2k_1} + \frac{g^{(2)}}{g}. \end{aligned} \quad (11)$$

Если оба оператора согласны кооперироваться, то есть работать на общий результат, то в этом случае они должны стремиться к максимизации общей средней прибыли, то есть выражения (см. (3)):

$$\begin{aligned} \text{МП}_1(T) + \text{МП}_2(T) &= \sum_{i=1}^2 [(p_i - r_i) \lambda_i g T - \\ &- k_i \lambda_i (g^{(2)} + \lambda_i T g^2) - k_i \lambda_1 \lambda_2 T^2 g^2]. \end{aligned} \quad (12)$$

Если  $k_1 \neq k_2$ , то максимум этого выражения по параметрам  $\lambda_1, \lambda_2$  достигается при таком условии:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \frac{1}{Tg^2(k_1-k_2)^2} \{ (3k_1+k_2)k_2g^{(2)} - g[(k_1+k_2)(p_2-r_2) + 2k_2(p_1-r_1)] \}, \\ \lambda_2 &= \frac{1}{Tg^2(k_1-k_2)^2} \{ (k_1+3k_2)k_1g^{(2)} - g[(k_1+k_2)(p_1-r_2) + 2k_1(p_2-r_2)] \}. \end{aligned} \quad (13)$$

В силу положительности параметров  $\lambda_1, \lambda_2$  последние формулы справедливы только при следующих условиях:

$$\begin{aligned} (3k_1+k_2)k_2g^{(2)} &> g[(k_1+k_2)(p_2-r_2) + 2k_2(p_1-r_1)], \\ (k_1+3k_2)k_1g^{(2)} &> g[(k_1+k_2)(p_1-r_2) + 2k_1(p_2-r_2)]. \end{aligned}$$

Вычисляя значения целевых функций (3) и (12) для разных решений олигополии (10), (11), (13), можем оценить их приемлемость для конкурирующих ОПТ.

Вышеприведенные результаты получены в предположении, что пропускные способности портовых терминалов достаточно большие и способны переработать достаточно большой грузооборот. Если же считать, что пропускные способности терминалов конечны, то приведенный подход к нахождению равновесного решения олигополии остается в силе, но с учетом дополнительных ограничений на пропускные способности терминалов. Пусть, например,  $W_i$  означает пропускную способность  $i$ -го терминала. Тогда условие отсутствия превышения фактического объема грузооборота, попадающего на  $i$ -й терминал, его пропускной способности может быть записано в виде следующего вероятностного ограничения:

$$\text{Pr} \left\{ \sum_{j=1}^n \gamma_{ij} \leq W_i \right\} \geq 1 - \varepsilon, i = 1, 2, \dots, n, \quad (14)$$

где  $\varepsilon$  – заданная малая вероятность. В этом случае при решении соответствующих задач оптимизации функций (3), (12) для нахождения равновесных решений олигополии необходимо учитывать также условие (14). Для практических приложений вместо достаточно сложного выражения в левой части условия (14) можно использовать одну из модификаций неравенства Чебышева.

**Выводы.** Приведенный метод анализа олигополии в условиях неопределенности, вызванной неравномерностью прибытия судов на терминалы, может быть использован при разработке конкурентной стратегии оператора.

Вышеприведенный подход к анализу олигополии, основанный на методах теории массового обслуживания, позволяет также оценить один из основных рисков в деятельности оператора, а именно риск его разорения в результате снижения ожидаемого грузооборота и действия конкурентов. Например, может представить интерес для него оценка вероятности того, что для  $i$ -го терминала в периоде  $T$  прибыль (1) окажется отрицательной вследствие случайного колебания грузооборота терминала и действия конкурентов. Это означает наличие риска разорения оператора. Указанный риск можно минимизировать с помощью разных методов риск-менеджмента, в частности страхования, самострахования, временного снижения операционных расходов.

Приведенный подход применим также для решения задачи о выборе судовладельцем терминала для захода судна. Критерий типа (1) отражает интерес оператора с точки зрения привлечения судопотока за счет гибкой тарифной политики. Однако с точки зрения интереса судовладельца более подходящим критерием является критерий минимизации его ожидаемых расходов, связанных с заходом судна в порт, где расположен терминал, его обработкой и непроизводительными простоями судна.

*Література:*

1. Портер М. Конкурентная стратегия. Методика анализа отраслей и конкурентов / пер. с англ. 3-е изд. Москва: Альпина Бизнес Букс, 2007. 453 с.
2. Интрилигатор М. Математические методы оптимизации и экономическая теория / пер. с англ. Москва: Айрис-пресс, 2002. 576 с.
3. Постан М.Я., Савельева И.В. Метод нахождения равновесного решения для портовых операторов в конкурентной среде типа олигополии. Технологический аудит и резервы производства. 2014. № 4/2 (18). С. 58–63.
4. Шибаев А.Г., Куприенко С.В. Система показателей оценки конкурентности морского торгового порта. Методы та засоби управління розвитком транспортних систем: зб. наук. праць. Вип. 7. Одеса: ОНМУ, 2004. С. 235–245.
5. Lee H., Boile M., Theofanis S., Choo S. Modeling the Oligopolistic and Competitive Behavior of Carriers in Maritime Freight Transportation Networks. Procedia – Social and Behavioral Sciences. 2012. № 54. P. 1080–1094.
6. Meersman H., Van de Voorde E., Vanelander T. Port Competitiveness Now and in the Future: What are the issues and Challenges? Research in Transportation Business & Management. 2016. Vol. 19. P. 1–3.
7. Курлянд А.М., Постан М.Я., Савельева И.В. Анализ современных тенденций развития портов в системе смешанных перевозок. Развитие методов управления та господарювання на транспорті: зб. наук. праць. Вип. 4(45). Одеса: ОНМУ, 2013. С. 7–23.
8. Yip T.L., Liu J.J., Fu X., Feng J. Modeling the effects of competition on seaport terminal awarding. Transport Policy. 2014. № 35. P. 341–349.
9. Carbone V., Gouernal E. Supply Chain and Supply Chain Management: Appropriate Concepts for Maritime Studies. International Workshop on Ports, Cities, and Global Supply Chains 2007. Hong Kong, China.
10. Постан М.Я. Экономико-математические модели смешанных перевозок. Одесса: Астропринт, 2006. 376 с.
11. Крук Ю.Ю., Постан М.Я. Моделирование ценовой конкуренции между портовыми операторами с учетом неравномерности прибытия судов. Інформаційні управляючі системи та технології: матеріали V міжнародної науково-практичної конференції (ІУСТ, Одеса, 20–21 вересня 2016 р.). Одеса: ОНМУ, 2016. С. 95–98.

**Ільченко С.В., Крук Ю.Ю., Постан М.Я. Розробка методу визначення рівноважного вирішення олигополії на ринку стивідорних послуг в умовах випадкового коливання вантажообігів**

**Анотація.** У статті запропоновано метод визначення рівноважного вирішення олигополії для стивідорних компаній, які конкурують між собою за вантажопотоки у сфері ціноутворення в умовах випадкових коливань вантажообігу, заснований на сполученні методів теорії фірми та теорії масового обслуговування. Портові термінали при цьому розглядаються як обслуговуючі системи, у які прибувають судна для навантаження або вивантаження вантажів. Знайдено умови рівноваги олигополії за Курно та Стекельбергом з точки зору максимізації очікуваного прибутку операторів портових терміналів у заданому періоді.

**Ключові слова:** морські порти, стивідорна діяльність, ринок стивідорних послуг, конкуренція, олигополія, випадкові коливання вантажообігу, теорія черг, рівновага за Курно та Стекельбергом.

**Il'chenko S.V., Kruk Yu.Yu., Postan M.Ya. Development of method of equilibrium solution's determination for stevedoring companies' oligopoly under cargo flow random fluctuation**

**Summary.** The method is proposed for equilibrium solution of stevedoring company's oligopoly competing with each other for cargo flows in their pricing decisions under random fluctuations of cargo flow. It is based on the unity of firm's theory and queueing theory. In the terms of queueing theory the ports terminals are presented as queueing systems in which the ships arrive for loading and unloading. The conditions of oligopoly equilibrium by Cournot and Stackelberg are found.

**Keywords:** seaports, stevedoring activity, market of stevedoring service, competition, oligopoly, random fluctuations of cargo flow, queueing theory, equilibrium by Cournot and Stackelberg.