

МЕТОДИКА ОБОСНОВАНИЯ СХЕМ ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТЫ СУДОВ В ТОРГОВО-ПРОМЫШЛЕННОМ СУДОХОДСТВЕ

METHODOLOGY OF SUBSTANTIATION OF SCHEMES OF WORK ORGANIZATION OF SHIPS IN THE COMMERCIAL AND INDUSTRIAL SHIPPING

В статье рассматривается одно из направлений решения актуальной задачи по составлению графика (расписания) организации движения флота при ограничении по объему и характеру грузопотока, портов захода и условиям эксплуатации судов на данном направлении. Рассматриваемый в статье оптимальный график является условным, разработанным на основе статистических данных при оптимальном варианте движения флота. Предлагаемая методика позволяет при заданных интервалах погрузки судов, направлений, схем погрузки в портах и конкретных рейсах рассчитать число перестановок возможных вариантов схем загрузки судов.

This article examines one of the ways to solve the actual problem for scheduling the organization of movement of the fleet under the limitation in the scope and nature of cargo traffic, ports of call and conditions of operation of in this direction. The examined optimal schedule is conditional, developed on the basis of statistical data with the optimal variant of the fleet movement. The suggested method allows to calculate the number of possible variants of schemes of loading the vessel at specified intervals of loading, schemes of loading in ports and specific voyages.

Ключевые слова: грузоперевозки, речной и морской флот, последовательные рейсы, линейное судоходство, трамповое судоходство, торгово-промышленное судоходство.

Key words: shipping, inland and marine waterways, sustained voyages, liner shipping, tramp shipping, commercial and industrial shipping.

Из практики известно, что расстановка судов по направлениям и составление графика (расписания) являются одними из важнейших и наиболее сложных вопросов организации движения флота [1]. Известно, что работа по составлению графика начинается с изучения объема и характера грузопотока, портов захода и условий эксплуатации судов на данном направлении. В связи с этим в крупных транспортных организациях широко используются электронные базы данных по портам и судам.

В контексте настоящего исследования необходимо оговориться, что рассматриваемый оптимальный график является условным, разработанным на основе статистических данных. Он задает оптимальный вариант движения флота, который может быть положен в основу рациональной работы флота на направлении.

Анализируя эксплуатационную деятельность на направлении, можно определить, как изменяются показатели работы флота при введении фиксированного графика работы, составленного на основе среднестатистических данных с учетом оптимального распределения и направления грузопотока по портам назначения по распределению рассматриваемого грузопотока по портам выгрузки заданных направлений с учетом рассматриваемого месячного грузопотока для портов направления в период летней навигации.

Пусть ожидаемое месячное распределение грузопотока получит вид (табл. 1).

Таблица 1

Ожидаемое месячное распределение промышленного грузопотока на порты направления

Порты погрузки	Значения грузопотока по порам выгрузки, тыс. т							
	$j = 4$	$j = 5$	$j = 6$	$j = 7$	$j = 8$	$j = 9$	$j = 10$	$j = 11$
$j = 1$	1,0	1,0	3,2	1,0	11,4	9,2	1,0	22,2
$j = 2$	—	—	—	—	5,0	3,4	1,0	10,6
$j = 3$	—	—	—	—	—	6,0	—	4,0

Известно, что задачу составления графика работы можно считать решенной, если известна дата начальной (исходной) позиции судна и длительность всех последующих ходовых и стояночных рейсовых операций согласно принятой ротации заходов судов в порты [2].

Прежде всего на основе данных таблицы распределения грузопотоков по портам направления, а также исходя из возможностей портов погрузки определим схемы загрузки судов в течение месяца.

Пусть в среднем, в месяц на направление например: вводятся 8 судов, при этом исходя из возможностей портов схемы загрузки судов могут быть следующие: два судна с погрузкой в порту $j = 3$ и последующей догрузкой в порту $j = 1$; два судна с погрузкой в порту $j = 2$ и четыре судна с погрузкой в порту $j = 1$.

Анализируя возможности портов по обработке судов получаем определенные даты подачи судов под погрузку и догрузку до полных судовых партий, например:

1) порт $j = 3$ — 12–13-е число каждого месяца, погрузка 4,0 тыс. т строительных материалов назначением на порт $j = 11$; порт $j = 1$ — 13–18-е число каждого месяца догрузка до 10,0 тыс. т тех. имуществом;

2) порт $j = 2$ — 26–28-е число каждого месяца, погрузка 6,0 тыс. т строительных материалов назначением на порт $j = 9$; порт $j = 1$ — 29–2-е число каждого месяца, догрузка до 10,0 тыс. т тех. имуществом.

Принимая во внимание достигнутую интенсивность погрузки по портам, а также используя принцип регулярности отправок, получаем следующие интервалы погрузки судов полными судовыми партиями (без последующей догрузки):

1) порт $j = 1$: 29–6, 7–14, 15–21, 22–28-е число каждого месяца;

2) порт $j = 2$: 26–10-е, 11–25-е число каждого месяца.

На основе решения задачи по определению минимума целевой функции:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n r_{ij} \cdot x_{ij} \rightarrow \min, \quad (1)$$

при ограничениях:

$$\sum_{i=1}^m q_{ij} \cdot x_{ij} = Q_j^{\text{мес}}; \quad j = \overline{1, n}; \quad \sum_{j=1}^n q_{ij} \cdot x_{ij} \leq P_i; \quad i = \overline{1, m}, \quad (2)$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{— партия груза погружена,} \\ 0 & \text{— партия груза не погружена;} \end{cases} \quad i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}, \quad (3)$$

где x_{ij} — булева переменная, принимающая значение 1 в случае, если на судно i погружена партия груза, назначение на порт j , и значение 0 — в противном случае;

r_{ij} — затраты, связанные с заходом i -го судна в j -й порт (финансовые, временные и пр., как определяется постановкой задачи);

q_{ij} — величина партии промышленного груза, погруженной на i -е судно назначением на j -й порт;

$Q_{j\text{ мес}}$ — месячная потребность в промышленном грузе (могут рассматриваться иные временные интервалы) в j -м пункте;

P_i — максимальное количество груза, которое может быть загружено на i -е судно.

Определяем такой состав схем движения судов в течение планируемого периода, при котором достигаются минимальные затраты, связанные с числом заходов в порты выгрузки.

Получаем распределение грузопотоков по схемам работы судов рассматриваемого направления, например (табл. 2).

Таблица 2

Распределение промышленных грузопотоков по схемам работы судов

Даты	Порты погрузки	Количество груза по портам выгрузки, тыс. т							
		$j = 4$	$j = 5$	$j = 6$	$j = 7$	$j = 8$	$j = 9$	$j = 10$	$j = 11$
12–13, 13–18	$j = 3, j = 1$	1,0					9,0		
26–28, 29–2	$j = 2, j = 1$				1,0	4,0			5,0
26–10	$j = 2$					5,0			5,0
11–25	$j = 2$						3,4	1,0	5,6
29–6	$j = 1$			1,6		3,4			5,0
7–14	$j = 1$						3,4	1,0	5,6
15–21	$j = 1$			1,6			2,8		5,6
22–28	$j = 1$		1,0			4,0			5,0

При необходимости для обеспечения месячного грузопотока можно осуществить 22 захода в порты выгрузки. Рассмотрим более детально смысл полученных схем работы. Прямая зависимость между интенсивностью обработки и количеством груза на судах позволяет сделать заключение о необходимости увеличения партионности отправок, например в порты $j = 8, j = 9$, а следовательно, и целесообразности уменьшения общего числа заходов при обеспечении месячного объема промышленных перевозок на направлении. Исходя из этого, покажем, что схема рейса любого судна не должна превышать трех портов выгрузки. Предположим, что существует необходимость включения в схему i -го судна четырех портов выгрузки. Рассмотрим все возможные варианты загрузки этого судна.

Ограничения по осадке в порту $j = 11$ позволяют грузить судно в среднем до 5,6 тыс. т. Месячный объем перевозок на факультативные порты не превышает 3,2 тыс. т (по порту $j = 6$, см. табл. 1).

Исходя из этого, максимальная загрузка i -го судна по схеме «факультативный порт–порт $j = 11$ » составит 8,8 тыс. т, а для погрузки судна до полной вместимости в эту схему необходимо включить промежуточный порт $j = 8$ или $j = 9$, объемы грузов на которые особенностями портов не ограничены. Тогда для загрузки судна на четыре порта должна существовать потребность включения в схему двух факультативных портов. Это возникает только в случае, когда число факультативных портов (m) больше количества схем движения (n) в месячном интервале. А так как в рассматриваемых месячных графиках работы направления $m = 5$, а $n = 8$, то, следовательно, необходимости включения в схему i -го судна четырех портов выгрузки нет. Это же положение при прочих равных условиях будет соблюдаться при $m \leq 8$.

Число схем, включающих три порта выгрузки по принципу «факультативный порт–промежуточный порт–порт $j = 11$ », равно:

$$\min \left\{ m; Q_{j=11} / q_{ij}^{\max} \right\}, \quad (4)$$

где $Q_{j=11}$ — месячный грузопоток на порт $j = 11$, тыс. т; $q_{ij}^{\max}$ — максимальное количество груза, отгружаемое на судно назначением в j -й порт, тыс. т.

Число схем с двумя портами выгрузки равно:

$$\left| m - Q_{j=11} / q_{ij}^{j=11} \right|. \quad (5)$$

Число схем с одним портом выгрузки соответственно равно:

$$n - \max \left\{ m; Q_{j=11} / q_{ij}^{\max} \right\}. \quad (6)$$

Известно, что организация работы судов на направлении требует равномерного поступления судов в порты выгрузки [3]. Для этой цели необходимо равномерное распределение отправок на каждый порт в течение месяца.

Рассмотрим обоснование ходовых и стояночных составляющих рейсов судов по предложенным схемам работы. В тех случаях, когда судозаходы в порты носят единичный характер, в качестве нормативных значений по обработке судов в этих портах целесообразно принимать средние значения интенсивности обработки. Нормативные значения скорости хода определяются в зависимости от технико-эксплуатационных характеристик судов, занятых на направлении (по ведущимся электронным базам данных судов). Эти величины служат для расчета затрат ходового времени по участкам полученных схем движения. Возможные отклонения в затратах времени от принятых значений, как показывает практика, крайне незначительны.

Таким образом, получена нормативная база для составления графика работы флота на направлении, определенная на основе среднестатистических данных в тех случаях, когда число наблюдений ограничено либо когда возможные отклонения фактических величин носят незначительный характер и оказывают несущественное влияние на результаты рейса в целом. Необходимо отметить, что полученные значения могут также являться нормативной базой для оперативного регулирования промышленных перевозок на направлении, что позволяет придать графику работы флота гибкий характер, отражающий реально складывающуюся обстановку в портах.

Анализ аналитических форм зависимостей для интенсивности обработки показал, что для ряда портов это значение обратно пропорционально общему числу судов направления, находящихся в портах. Логично заключить, что чем больше судов находится в порту, тем дольше время ожидания постановки к причалу. Там, где возможности порта для обработки судов больше, степень влияния возрастающего числа судов на уменьшение интенсивности грузовых работ ниже. Это позволяет сделать **вывод**, что можно добиться такой ритмичности отправок, при которой число судов, одновременно выгружающихся в портах, было бы минимально. Это влияет на возрастание значения интенсивности обработки судов и, следовательно, воздействует на рост показателей работы флота на направлении в целом.

Исходя из этого, схемам работы судов на направлении можно задать такой порядок, при котором время выгрузки в рассматриваемых портах было бы минимальным. Решению поставленной задачи соответствует оптимальное значение следующего критерия:

$$\sum_{i=1}^I \left(T_i^{\text{погр}} + \sum_{\ell=1}^L T_{i\ell}^x + \sum_{j=1}^J T_{ij} \right) \rightarrow \min, \quad (7)$$

где I — число судов, работающих на направлении в течение планируемого периода (месяца);
 $T_i^{\text{погр}}$ — время погрузки i -го судна, получаемое на основе интервалов обработки судов по каждому порту;

$T_{i\ell}^x$ — среднестатистическое время перехода i -го судна на ℓ -м участке перехода;

T_{ij} — время обработки i -го судна в j -м порту, равно Q_{ij} / x_j ;

Q_{ij} — количество груза на i -м судне для выгрузки в j -м порту;

x_j — интенсивность обработки в j -м порту, полученная на основе аналитических форм зависимостей, либо среднестатистическая.

В общем случае показатель χ_j является комплексным, его аналитическая форма требует уточнения.

Очевидно, что время обработки (фактически — время пребывания) судна в порту T_{ij} зависит от показателя $t_{гр}$ — времени на грузовое обслуживание, а также от времени технических (t_t) и технологических ($t_{техн}$) операций, несовместимых (непараллельных) с перегрузочным процессом:

$$T_{ij} = t_{гр\,ij} + t_{т\,ij} + t_{техн\,ij}. \quad (8)$$

В общем случае время грузового обслуживания судна определяется по формуле

$$t_{гр\,ij} = Q_{ij} / \Pi_{пр\,j}, \quad (9)$$

где $\Pi_{пр\,j}$ — пропускная способность причала.

Величина технических операций включает время на постановку к причалу (швартовку) и уборку (отшвартовку), подготовку перегрузочного процесса (сосредоточение средств механизации, средств сепарации, крепления, подготовку грузовых помещений и пр.). Время технических операций устанавливается для каждого порта отдельно на основе хронометражных наблюдений.

В состав технологических операций входит ожидание судами грузового обслуживания. Возникновение ожиданий грузового обслуживания обуславливается главным образом наличием отклонений в выполнении прогнозируемых норм ходового времени (опоздания и опережения графика), что вызывает несогласованность в готовности складов, в подходах железнодорожного подвижного состава и автомобильной техники грузоотправителей (грузополучателей). Ожидание, кроме того, вызывается недостаточной организацией рейдового обслуживания.

Для регулярных судопотоков технологические операции будут отсутствовать, если процесс поступления судов стационарный.

Для простейших судопотоков с функцией распределения числа судов, прибывающих в интервале $(0, t)$ пуассоновского вида, величина технологических операций является функцией плотности входящего судопотока и пропускной способности портов.

Среднее время ожидания каждым типом судна грузовой обработки $t_{техн}$ целесообразно определять по формуле

$$t_{техн} = f \cdot a_{I(II)} \varphi \cdot \gamma_{ож} t_{гр}, \quad (10)$$

где f — коэффициент, учитывающий влияние фазности обслуживания:

$$f = (k_{\phi} + 1) / 2k_{\phi}, \quad (11)$$

k_{ϕ} — номер фазы обслуживания ($k_{\phi} = 1, 2, 3, \dots$). Для однофазного и первой фазы обслуживания (только погрузки или только выгрузки) $f = 1$, для второй фазы обслуживания (погрузка после своей выгрузки) $f = 0,75$ [4];

a_1 — коэффициент, учитывающий сокращение времени ожидания судов, обрабатываемых, как правило, в первую очередь (с приоритетом, например с опасными грузами):

$$a_1 = (1 - \tau) / (1 - b\tau); \quad (12)$$

τ — коэффициент использования причалов:

$$\tau = n_j \cdot \alpha_j; \quad (13)$$

$\alpha_j = \lambda_j \cdot t_{гр\,ij}$ — коэффициент относительной плотности судопотока;

λ_j — средняя частота (плотность) поступления в порт судов;

n_j — количество причалов в порту;

b — коэффициент, представляющий отношение плотности поступления судов первой группы λ_1 к общей плотности судопотока обслуживания ($\lambda_1 + \lambda_{II}$);

a_{II} — коэффициент, учитывающий увеличение времени ожидания судов второй группы (обрабатываемых во вторую очередь):

$$a_{II} = 1/(1 - b \tau); \quad (14)$$

φ — коэффициент, учитывающий вариацию интервала поступления и времени обработки судов:

$$\varphi = (v_{II}^2 + v_0^2)/2; \quad (15)$$

v_{II}, v_0 — соответственно коэффициенты вариации интервала поступления судов и времени грузового обслуживания

$$v_{II} = \sigma_{II}/t_{II}, \quad v_0 = \sigma_{гр}/t_{гр}; \quad (16)$$

$\sigma_{II}, \sigma_{гр}$ — соответственно среднее квадратичное отклонение поступления судов и времени погрузки (выгрузки);

$t_{II}, t_{гр}$ — соответственно средние интервал поступления судов и время погрузки (выгрузки);

$\gamma_{ож}$ — среднее относительное ожидание причалов всеми судами.

В общем виде $\gamma_{ож} = t_{гр}/t_{II}$. Среднее относительное ожидание целесообразно определять по формуле

$$\gamma_{ож} = \alpha^n / \left[(n-1)!(n-\alpha)^2 \sum_{k=0}^{n-1} [1/k! \alpha^n + (n-\alpha)\alpha^n] \right]; \quad (\alpha \leq n), \quad (17)$$

где n — число причалов; k — признак причала; α — коэффициент относительной плотности судопотока.

В случае пачкообразного прибытия судов в порт выгрузки (при введении режима плавания, предусматривающего выполнение перевозок в составе конвоев) возможны два варианта соотношения числа судов, прибывших для выгрузки и количества пригодных причалов.

Для случая, когда количество судов в конвое равно или превышает количество пригодных причалов ($m \geq n$):

$$\gamma_{ож} = \frac{\sum_{k=0}^{n-1} [k(k-n)(\alpha+k-1)!/(\alpha-1)k!]}{\sum_{k=0}^{n-1} [(k-n)(\alpha+k-1)!/(\alpha-1)k!]} - \frac{m+1}{2(m\alpha-m)} - 1, \quad (18)$$

где m — число прибывающих судов.

Для случая, когда число причалов больше количества прибывающих судов ($m < n$):

$$\gamma_{ож} = \frac{\sum_{k=0}^{n-1} k(k-n) \left[\frac{(\alpha+k-1)!}{(\alpha-1)k!} - \frac{\alpha}{k} \cdot \frac{(\alpha+k-m-2)!k(k-1)\dots(k-m)}{(\alpha-1)k!} \right]}{m\alpha \sum_{k=0}^{n-1} (k-n) \left[\frac{(\alpha+k-1)!}{(\alpha-1)k!} - \frac{\alpha}{k} \cdot \frac{(\alpha+k-m-2)!k(k-1)\dots(k-m)}{(\alpha-1)k!} \right]} - \frac{m+1}{2(m\alpha-n)} - 1. \quad (19)$$

Очередь не будет расти бесконечно, если будет соблюдаться условие:

$$\alpha \leq n/m. \quad (20)$$

В табл. 3 приведены выведенные из (19) формулы расчета $\gamma_{ож}$ для случаев одновременного прихода в порт (портопункт) 1–5 судов при наличии 1–3 причалов для их обработки.

Одновременно представляется целесообразным определить длину очереди как показатель, с помощью которого легко оценить качество работы порта погрузки (выгрузки). Известно, что в общем виде длина очереди судов ($L_{оч}$) зависит от средней продолжительности ожидания грузового обслуживания ($t_{ож}$) и средней интенсивности входящего судопотока (λ) и определяется по формуле

$$L_{оч} = t_{ож} \cdot \lambda. \quad (21)$$

Таблица 3

 Формулы расчета среднего относительного ожидания причала $\gamma_{ож}$

Количество судов	Количество причалов		
	$n = 1$	$n = 2$	$n = 3$
$m = 1$	$\frac{\alpha}{1 - \alpha}$	$\frac{\alpha^2}{4 - \alpha^2}$	$\frac{\alpha^3}{18 + 6\alpha - \alpha^2 - \alpha^3}$
$m = 2$	$\frac{1 + 4\alpha}{2 - 4\alpha}$	$\frac{4\alpha^2 + 5\alpha}{8 - 4\alpha - 4\alpha^2}$	$\frac{4\alpha^3 + 13\alpha + 3\alpha}{36 + 6\alpha - 14\alpha^2 - 4\alpha^3}$
$m = 3$	$\frac{1 + 3\alpha}{1 - 3\alpha}$	$\frac{9\alpha^2 + 15\alpha + 2}{12 - 12\alpha - 9\alpha^2}$	$\frac{3\alpha^3 + 12\alpha^2 + 9\alpha}{18 - 3\alpha - 12\alpha^2 - 3\alpha^3}$
$m = 4$	$\frac{3 + 8\alpha}{2 - 8\alpha}$	$\frac{8\alpha^2 + 15\alpha + 3}{8 - 12\alpha + 8\alpha^2}$	$\frac{8\alpha^3 + 35\alpha^2 + 34\alpha + 3}{36 - 18\alpha - 34\alpha^2 - 8\alpha^3}$
$m = 5$	$\frac{2 + 5\alpha}{1 - 5\alpha}$	$\frac{25\alpha^2 + 50\alpha + 12}{20 + 40\alpha - 25\alpha^2}$	$\frac{25\alpha^3 + 115\alpha^2 + 126\alpha + 18}{90 - 75\alpha - 110\alpha^2 - 25\alpha^3}$

Среднюю продолжительность ожидания грузового обслуживания можно определить по формуле

$$t_{ож} = \gamma_{ож} \cdot t_{гр},$$

а среднюю интенсивность входящего судопотока в виде формулы

$$\lambda = \alpha / t_{гр}.$$

Подставляя значения в формулу (21), получаем

$$L_{оч} = \alpha \cdot \gamma_{ож}. \quad (22)$$

Используя выражение $\alpha = n \cdot \tau$ и выполнив подстановку значения α в формулу (23), получим зависимость длины очереди от числа причалов, коэффициента их использования и относительно-го ожидания грузового обслуживания:

$$L_{оч} = n \cdot \tau \cdot \gamma_{ож}. \quad (23)$$

С учетом ранее принятых обозначений, а также формулы (10) можем записать выражение для расчета длины очереди судов:

$$L_{оч} = n \tau f a_{I(II)} \phi \gamma_{ож}, \quad (24)$$

где τ — коэффициент использования причалов;

f — коэффициент, учитывающий влияние фазности обслуживания;

ϕ — коэффициент, учитывающий вариацию интервала поступления и времени обработки судов.

Выше были получены интервалы времени для погрузки судов в портах $j = 1, 2, 3$, исходя из возможностей портов с учетом работы судов других направлений, а также используя принцип равномерности отправок. Теоретически возможна любая перестановка схем работы судов на направлении (табл. 2) по указанным позициям, кроме того, отсутствие принципа равномерности от-ходов, то есть задание произвольной периодичности интервалов отходов судов, влечет за собой появление значительного числа рассматриваемых вариантов графика. В данном конкретном слу-

чае, когда заданы интервалы погрузки судов направления, а по схеме погрузки в портах $j = 3, 1$ определены конкретные рейсы, рассчитаем число перестановок возможных вариантов схем загрузки судов.

Число возможных сочетаний из n элементов определяется по формуле $P_n = n!$. Как отмечалось, загрузка судов по схеме $j = 3, 1$ носит фиксированный характер. При погрузке судов в порту $j = 2$ число схем загрузки $n = 2$ (см. табл. 2), $P_{j=2} = 2$, а при погрузке судна только в порту $j = 1$, $n = 4$ и $P_{j=4} = 24$. Общее число сочетаний (перестановок) возможных схем движения $P = P_{j=2} \cdot P_{j=4} = 48$. Таким образом, для нахождения оптимального графика работы флота на направлении необходимо рассмотреть 48 вариантов. Очевидно, что для этих целей целесообразно привлечение средств вычислительной техники.

Список литературы

1. Kendall L. C. The Business Of Shipping / L. C. Kendall. — Cambridge: Cornell Maritime Press, Inc., 1983.
2. Капитанов В. П. Развитие математической модели оптимизации схем движения линейных судов / В. П. Капитанов // Экономика и эксплуатация морского транспорта: сб. науч. тр. ОИИМФ. — М.: Рекламбюро ММФ, 1975.
3. Магамадов А. Р. Вопросы повышения эффективности взаимодействия предприятий морского транспортного узла при оперативном управлении / А. Р. Магамадов. — М.: ЦРИА «Морфлот», 1978.
4. Методическое руководство по разработке графика движения флота с применением электронных вычислительных машин. — М.: Транспорт, 1970.

УДК 656.615

К. М. Семенов,
аспирант,
Балтийская государственная
академия рыбопромыслового флота
ФГБОУ ВПО «Калининградский
государственный технический университет»

ВЕРОЯТНОСТНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПОСТУПЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ В МОРСКОЙ ПОРТ

STOCHASTIC MODEL OF TRANSPORT STREAMS MOVING THROUGH SEAPORT

Деятельность порта в значительной степени зависит от поступающих в него потоков грузов и транспорта, характеристики которых, как правило, являются случайными параметрами. Представленная в статье модель основана на оценке динамики интенсивности нестационарного транспортного потока с последующим применением корреляционно-регрессионного анализа и последующим исследованием характеристик случайной функции, описывающей интервалы между отдельными судозаходами с помощью метода наибольшего правдоподобия. На практике модель может использоваться для обоснования