



УДК 656.62

**В. А. Табунщикова**, студентка ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
**Ю.Н. Уртминцев**, д.т.н., проф. ФГБОУ ВО «ВГУВТ»  
603951, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СУДОПРОПУСКА ЧЕРЕЗ ОДНОПУТНЫЕ УЧАСТКИ

*Ключевые слова: пропускная способность пути, проводная способность флота, моделирование транспортного процесса*

*Рассматривается задача определения оптимального числа судов в серии при групповом пропуске судов через однопутный участок с учетом характеристик участка, интенсивности судопотока, стохастического характера транспортного процесса. Используется математический аппарат имитационного моделирования.*

На речной транспортной сети существуют отдельные участки с ограниченной пропускной способностью, которые заметно снижают путевую скорость движения судов и вызывают их простои. При этом, естественно, замедляется и скорость продвижения товаропотоков. К таким участкам относятся, прежде всего, искусственные путевые сооружения – каналы, шлюзы, а также естественные водные пути с недостаточными габаритами судового хода (малая ширина судового хода, малые глубины).

Пропускная способность пути влияет на провозную способность флота. Провозная способность флота на определенном направлении перевозок не может быть больше пропускной способности пути. С учетом реально существующей неравномерности движения судов провозная способность флота всегда меньше пропускной способности пути.

Отметим, что методы расчета пропускной способности пути изначально были разработаны для железных дорог [2]. На речном транспорте многие определения и методы расчета были получены на основании этих разработок [1,3,4]. Однако исследования в области оптимизации организационного механизма судопропуска, на наш взгляд, были недостаточно полными.

Одной из разновидностей лимитирующих участков являются однопутные участки. Известно, что для повышения пропускной способности таких участков может использоваться групповой пропуск поочередно в каждом направлении (рис. 1). Число судов в группе (серии) может варьироваться от одного (в частном случае) до нескольких, причем это число влияет на пропускную способность участка, время проследования судов и, соответственно, на провозную способность флота.

Возникает задача определения оптимального числа судов в серии в зависимости от характеристик участка и интенсивности судопотока. Решение данной задачи может быть проведено аналитическим методом или при помощи моделирования. В общем случае, метод моделирования следует считать более универсальным, т.к. он позволяет учесть большое число факторов, в том числе стохастический характер транспортного процесса.

В данной работе моделируется процесс судопропуска через однопутный участок пути с разным количеством судов в серии с целью исследования влияния количества судов на

пропускную способность пути и на время судопропуска. Стохастический характер поступающего к участку судопотока учитывается через задание интервала поступления в виде случайной величины.

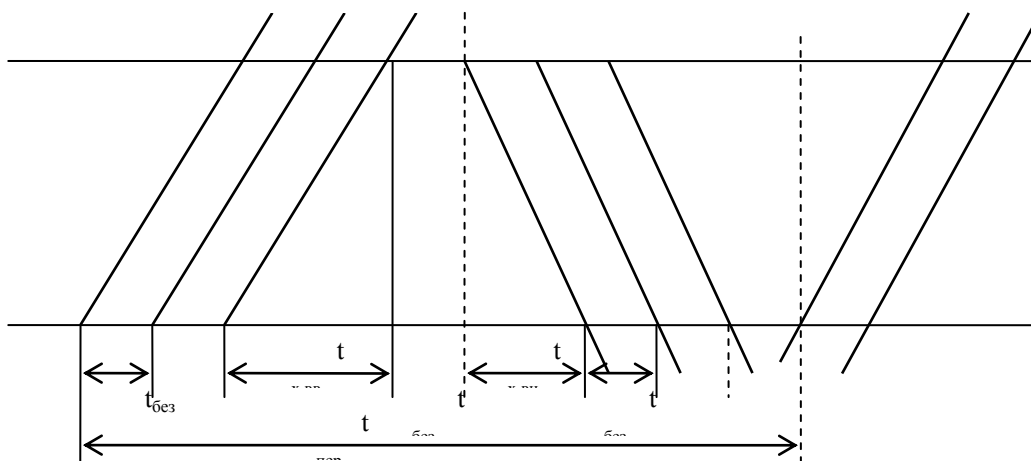


Рис. 1. Серийный пропуск судов через однопутный участок.

#### Алгоритм моделирования

Моделируются потоки судов в каждом направлении:

$$t_{пр\ i+1} = t_{пр\ i} + t_{и\ i+1}, \quad i = 1 \div N$$

$$t_{пр\ j+1} = t_{пр\ j} + t_{и\ j+1}, \quad j = 1 \div M$$

Здесь:  $i \in I, j \in J$  - множество судов, прибывающих к лимитирующему участку за расчетный период в направлениях «вверх» и «вниз» соответственно;

$t_{пр\ i} (j)$  – момент прибытия  $i$ -го ( $j$ -го) судна к лимитирующему участку;

$t_{и\ i+1}$  – интервал времени между моментами прибытиями  $(i+1)$ -го и  $i$ -го судов.

Значения интервалов поступления судов генерируются датчиком случайных чисел по заданному исследователем закону распределения вероятностей.

Формируется группа последовательно пропускаемых судов в одном направлении в соответствии с установленной численностью группы –  $I_k$ , где  $I_k$  – множество судов в  $k$ -й группе.

Определяется момент начала судопропуска через лимитирующий участок  $i$ -го судна:

$$t_{нач\ i} = \max\{t_{пр\ i}; t_{пр\ i-1} + t_{без}; t_{ок\ k} + t_{без}\},$$

где  $t_{без}$  – интервал безопасности (в единицах времени) между судами при их движении;

$t_{ок\ k}$  – момент окончания судопропуска  $k$ -й группы судов в противоположенном направлении;

Рассчитывается время ожидания судном группы начала судопропуска:

$$t_{ож\ i} = t_{нач\ i} - t_{пр\ i}$$

Определяется момент времени окончания судопропуска  $i$ -го судна:

$$t_{ок\ i} = t_{нач\ i} + t_{х\ i},$$

где  $t_{х\ i}$  – время хода судна через лимитирующий участок в данном направлении.

Определяется валовое время судопропуска  $i$ -го судна:

$$t_{в\ i} = t_{ок\ i} - t_{пр\ i}$$

Рассчитывается момент времени окончания судопропуска  $k$ -й группы судов в данном направлении:

$$t_{ок\ k} = \max_{i \in I_k} \{t_{ок\ i}\},$$

Осуществляется переход к моделированию судопропуска группы судов ( $J_k$ ) в противоположенном направлении в соответствии с пунктами 2-7 алгоритма.

После завершения моделирования судопропуска всех судов в обоих направлениях производится расчет итоговых показателей: среднее время ожидания судном начала судопропуска, среднее время судопропуска, пропускная способность участка (ед.судов/ч).

Представленный алгоритм был реализован с помощью электронных таблиц Excel.

Расчеты проводились для разного количества судов в серии, разной протяженности лимитирующего участка и разной интенсивности судопотока.

Фрагмент результатов моделирования группового пропуска судов (4 судна в серии) через лимитирующий участок показан на рис. 2.

Число судов, которое можно пропустить через однопутный участок, будет при серийном графике больше, чем при одиночном, а пропускная способность однопутного участка увеличивается с ростом числа судов, включенных в серию.

Однако, важно отметить, что чем больше количество судов в одной серии, тем больше становится не только пропускная способность, но и время судопропуска. При этом главная цель повышения пропускной способности участка состоит именно в сокращении времени судопропуска, что обеспечивает рост провозной способности флота и снижение себестоимости перевозок. Следовательно, главным критерием при определении оптимального числа судов в серии должно служить сокращение времени судопропуска.

Итоги расчетов представлены в виде графика, который показывает, как количество судов в серии влияет на время судопропуска в зависимости от интервала прибытия судов (рис. 3).

Номер судна вверх, i	Номер судна вниз, j	Время прибытия судна вверх, t <sub>вв i</sub>	Время прибытия судна вниз, t <sub>вн j</sub>	Время ожидания начала судопроп. , t <sub>ож i</sub>	Время ожидания начала судопроп. , t <sub>ож j</sub>	Время начала судопроп., t <sub>нач i</sub>	Время окончания судопроп., t <sub>ок i</sub>	Время начала судопроп., t <sub>нач j</sub>	Время окончания судопроп., t <sub>ок j</sub>	Время судопроп., t <sub>сп i</sub>	Время судопроп., t <sub>сп j</sub>	Пропускн. способность суд./ч	Среднее время судопроп., мин
		0	0				0			0			
1	1	21	23	0,00	47,67	21,00	27,67	70,67	77,33	6,67	54,33		
2	2	39	50	0,00	24,67	39,00	45,67	74,67	81,33	6,67	31,33		
3	3	53	79	0,00	0,00	53,00	59,67	79,00	85,67	6,67	6,67		
4	4	60	86	0,00	0,00	60,00	66,67	86,00	92,67	6,67	6,67		
5	5	81	87	15,67	52,67	96,67	103,33	139,67	146,33	22,33	59,33		
6	6	100	103	0,67	40,67	100,67	107,33	143,67	150,33	7,33	47,33		
7	7	118	125	0,00	22,67	118,00	124,67	147,67	154,33	6,67	29,33		
8	8	129	147	0,00	4,67	129,00	135,67	151,67	158,33	6,67	11,33		
9	9	140	174	22,33	32,67	162,33	169,00	206,67	213,33	29,00	39,33		
10	10	162	184	4,33	26,67	166,33	173,00	210,67	217,33	11,00	33,33		
11	11	192	205	0,00	9,67	192,00	198,67	214,67	221,33	6,67	16,33		
12	12	195	207	1,00	11,67	196,00	202,67	218,67	225,33	7,67	18,33		
13	13	201	214	28,33	46,67	229,33	236,00	260,67	267,33	35,00	53,33		
14	14	220	228	13,33	36,67	233,33	240,00	264,67	271,33	20,00	43,33		
15	15	222	250	15,33	18,67	237,33	244,00	268,67	275,33	22,00	25,33		
16	16	250	269	0,00	3,67	250,00	256,67	272,67	279,33	6,67	10,33		
17	17	278	285	5,33	23,67	283,33	290,00	308,67	315,33	12,00	30,33		
18	18	286	302	1,33	10,67	287,33	294,00	312,67	319,33	8,00	17,33		
19	20	298	328	0,00	0,00	298,00	304,67	328,00	334,67	6,67	6,67		
20	20	299	349	3,00	0,00	302,00	308,67	349,00	355,67	9,67	6,67		
21	21	313	350	46,67	32,33	359,67	366,33	382,33	389,00	53,33	39,00		
22	22	318	369	45,67	17,33	363,67	370,33	386,33	393,00	52,33	24,00		
23	23	322	386	45,67	4,33	367,67	374,33	390,33	397,00	52,33	11,00		
24	24	329	414	42,67	0,00	371,67	378,33	414,00	420,67	49,33	6,67		
		13,7	17,3						7,01	451,33	627,67		
										9.40	13.08	6.85	11.24

Рис.2. Фрагмент результатов моделирования группового пропуска судов (4 судна в серии) через лимитирующий участок, с учетом стохастического характера поступающего судопотока.

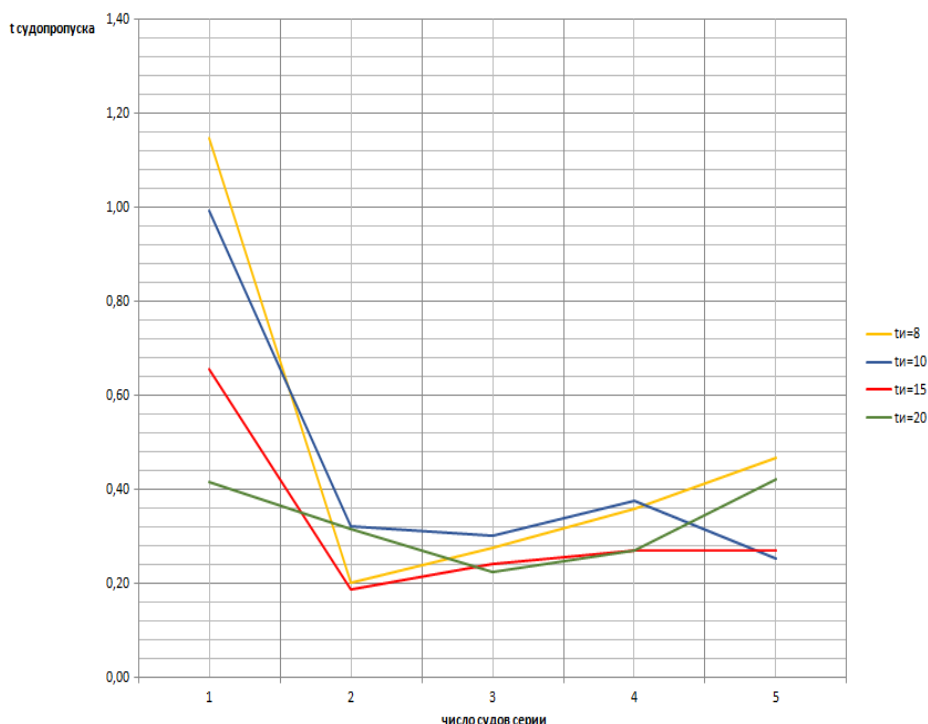


Рис.3. Зависимость времени судопропуска от количества судов в серии, с учетом стохастического характера поступающего к участку судопотока.

Результаты моделирования показывают, что увеличение числа судов в серии целесообразно только до того предела, который обеспечивает превышение пропускной способности участка над интенсивностью судопотока. Дальнейшее увеличение числа судов в серии нецелесообразно, т.к. приводит к росту продолжительности судопропуска.

Таким образом, предложенный в настоящей работе методический подход позволяет определять оптимальное число судов в серии с учетом характеристик лимитирующего участка и интенсивности судопотока, а также с учетом стохастического характера поступающего к участку судопотока.

### Список литературы:

- [1]. Союзов А.А. Организация работы речного флота: учебник /А.А. Союзов – М.: Речной транспорт, 1957 г. - 516 с.
- [2]. Кочнев Ф.П. «Организация движения на железнодорожном транспорте»: учебник. /Ф.П. Кочнев В.М. Акулиничев, А.М. Макаровичкин - М.: Транспорт, 1979 г. – 568с.
- [3]. Малышкин А.Г. Организация и планирование работы речного флота: учебник / А.Г. Малышкин – М.: Транспорт, 1985 г. – 215 с.
- [4]. Зачесов В.П. Технология и организация перевозок на речном транспорте: учебник / В.П. Зачесов В.П., В.Г. Филоненко – Новосибирск: Сибирское соглашение, 2004 г. - 400 с.

## OPTIMIZATION OF SHIPPING PARAMETERS THROUGH SINGLE-WAYS PLOTS

V. A. Tabunshchikova, Yu.N. Urmintsev

*Key words: throughput of the track, wire capacity of the fleet, modeling of the transport process*

*The problem of determining the optimal number of vessels in a series with a group pass of vessels through a single-track section is considered, taking into account the characteristics of the section, the intensity of the ship flow, and the stochastic nature of the transport process. The mathematical apparatus of imitating modeling is used*