

Научная статья

УДК 658.5

<https://doi.org/10.24143/2073-1574-2026-1-106-116>

EDN ZAAGWF

## **О методе формирования регулярных контейнерных линий на внутренних водных путях европейской части Российской Федерации**

*Дмитрий Иванович Авдонин, Александр Александрович Лисин*✉

*Волжский государственный университет водного транспорта,  
Нижний Новгород, Россия, [lisin\\_aa@mail.ru](mailto:lisin_aa@mail.ru)*✉

**Аннотация.** Согласно теории ограничений Голдратта, доказано, что пропускная способность системы водного транспорта для европейской части России определяется пропускной способностью шлюзов каскада водохранилищ на реке Волге от Ярославля до Астрахани, на реке Каме от Перми до Камского Устья. При формировании схемы грузовых перевозок предлагается решение многосекционных толкаемых составов, обеспечивающее максимальное использование пространства камеры шлюза и соблюдение расписания подхода к шлюзу, соответственно, минимизацию простоя флота в ожидании. Решением задачи видится формирование регулярных контейнерных линий барже-буксирных составов, предложен метод разделения водного пути на участки, связанные через рейды узловых портов и рейд переформирования составов. Рациональный способ обслуживания несамоходных грузовых судов определен выбором формы закрепления тяги за тоннажем для основных маршрутов перевозок, способа обслуживания тягой тоннажа – маршрутный или участковый, при которых целесообразность маршрутов и схемы использования определяются технологией сборных партий грузов. Увеличение производительности и провозной способности флота достигается за счет исключения времени ожидания буксиром-толкателем момента завершения погрузо-разгрузочных операций и времени ожидания толкачами прибытия друг друга. Аналогично формирование контейнерных линий рассматривается как обязательное условие связанности каждого порта отправления с каждым портом прибытия. Соблюдение расписания требует применения регулирования режима скорости движения судна. Рассматривается общепринятый вариант регулирования времени через дополнительные остановки. Время хода с грузом рассчитывается по рационально-экономичной скорости движения, а время шлюзования не включает время ожидания, т. к. прибытие состава происходит в заранее согласованное время.

**Ключевые слова:** шлюз, расписание, пропускная способность, эксплуатационные показатели тяги, расписание У, речные перевозки, барже-буксирный состав, переформирование состава

**Для цитирования:** *Авдонин Д. И., Лисин А. А. О методе формирования регулярных контейнерных линий на внутренних водных путях европейской части Российской Федерации // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2026. № 1. С. 106–116. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2026-1-106-116>. EDN ZAAGWF.*

Original article

## **On the method of forming regular container lines on the inland waterways of the European part of the Russian Federation**

*Dmitry I. Avdonin, Alexander A. Lisin*✉

*Volga State University of Water Transport,  
Nizhny Novgorod, Russia, [lisin\\_aa@mail.ru](mailto:lisin_aa@mail.ru)*✉

**Abstract.** According to Goldratt's theory of constraints, it is proved that the capacity of the water transportation system for the European part of Russia is determined by the capacity of the locks of the cascade of reservoirs on the Volga River from Yaroslavl to Astrakhan, on the Kama River from Perm to the Kama Estuary. When forming a cargo transportation scheme, a solution of multi-section pushed trains is proposed, ensuring maximum use of the lock chamber space and compliance with the approach schedule to the gateway, accordingly, minimizing fleet downtime while waiting. The solution to the problem is the formation of regular container lines of barge-tow trains, a method is pro-

posed for dividing the waterway into sections connected through the raids of nodal ports and the raid of the reformation of trains. The rational way of servicing non-self-propelled cargo vessels is determined by the choice of the form of tonnage traction for the main transportation routes, the type of tonnage traction maintenance – route or section, in which the expediency of routes and usage patterns are determined by the technology of combined shipments. The increase in productivity and carrying capacity of the fleet is achieved by eliminating the waiting time for the pusher tug to complete loading and unloading operations and the waiting time for the pushers to arrive at each other. Similarly, the formation of container lines is considered as a prerequisite for the connectivity of each port of departure with each port of arrival. Compliance with the schedule requires the use of regulation of the vessel's speed regime. The article discusses the generally accepted option of adjusting the time through additional stops. The travel time with cargo is calculated according to the rational and economical speed of movement, and the lock-in time does not include waiting time, since the arrival of the train takes place at a pre-agreed time.

**Keywords:** the gateway, schedule, bandwidth, thrust performance indicators, schedule Y, river transportation, a barge is a tow train, reformation of the team

**For citation:** Avdonin D. I., Lisin A. A. On the method of forming regular container lines on the inland waterways of the European part of the Russian Federation. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies.* 2026;1:106-116. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2026-1-106-116>. EDN ZAAGWF.

### Введение

Хорошо известная в менеджменте теория ограничений (Theory of Constraints), разработанная Э. Голдраттом, оценивает эффективность системы управления наличием узких мест, которые препятствуют достижению максимальных показателей и уменьшают результативность деятельности [1]. Для эффективной речной транспортной системы такого рода ограничениями являются шлюзы. При сравнении в сопоставимых условиях безопасного судоходства пропускная способность участка движения на внутренних водных путях (ВВП) более чем в 10 раз превышает пропускную способность шлюза.

Пропускная способность системы водного транспорта определяется пропускной способностью самого узкого места. В нашем случае это шлюз. Под судопропускной способностью шлюза понимают наибольшее число шлюзований или равное ему число шлюзуемых составов, пропускаемых через шлюз за определенный промежуток времени, а под грузопропускной способностью – количество грузов в судах, пропускаемых через шлюз за тот же период времени. В результате проведения анализа работы шлюзов установлено, что данный показатель снизился почти в 3 раза. Сопоставив отношение фактического количества проходящих через шлюз судов к количеству шлюзований за навигацию, можно отметить, что количество про-

пущенного флота за одно шлюзование эквивалентно средней валовой вместимости судна 2 155 регистровых тонн тоннажа (в 5 раз меньше вместимости, на которую рассчитана камера шлюза) [2].

### Методы исследования

Основной идеей является обеспечение максимальной пропускной способности камер шлюзов. Габариты камер шлюзов составляют 290 × 30 м. Рассмотрим правила шлюзования на ВВП Российской Федерации [3].

Мы не можем повлиять на время шлюзования, которое зависит от перепадов высот, скорости наполнения, технического состояния механизмов, но можем повышать пропускную способность за счет совместного шлюзования нескольких судов, обязательно соблюдая правила шлюзования.

Совместное шлюзование используется для увеличения пропускной способности, но, с другой стороны, резко увеличивается время прохождения шлюза из-за ожидания судов друг друга при подходе, при швартовке и прочих операциях. Поэтому при формировании схемы грузовых перевозок мы предлагаем решение, обеспечивающее максимальное заполнение камеры шлюза (табл. 1). В шлюз заходит одно судно (состав), и случаев взаимного ожидания судами друг друга не будет возникать совсем [4].

Таблица 1

Table 1

#### Минимальные суммарные запасы по ширине в камере шлюза, м

#### Minimum total reserves in width as a gateway, m

| Ширина камеры шлюза | Величина запаса |
|---------------------|-----------------|
| 10,0 и менее        | 0,4             |
| 10,1–18,0           | 0,8             |
| 18,1 и более        | 1               |

При наличии на подходе к границам шлюза или шлюзованного участка ВВП очереди из судов более чем на одно шлюзование диспетчером шлюза должна обеспечиваться следующая последователь-

ность их пропуска:

- первая очередь – пассажирские и иные суда, следующие по расписанию;
- вторая очередь – нефтеналивные суда с нефтью

и/или нефтепродуктами, а также их остатками, с температурой вспышки паров ниже 60 °С, суда с взрывчатыми и отравляющими веществами, суда со скоропортящимися грузами;

– третья очередь – средства плавучей механизации и суда технического флота, а также суда, перевозящие специальные грузы;

– четвертая очередь – сухогрузные самоходные суда и толкаемые составы, нефтеналивные суда и составы с нефтью и/или нефтепродуктами, а также их остатками, с температурой вспышки паров 60 °С и выше;

– пятая очередь – сухогрузные буксируемые составы, плоты и иные суда.

При скоплении у границ шлюза или шлюзованного участка ВВП судов более чем на два шлюзования диспетчером шлюза составляется план шлюзований, предусматривающий максимально быстрый и безопасный пропуск судов через шлюз.

Допускается совместное шлюзование:

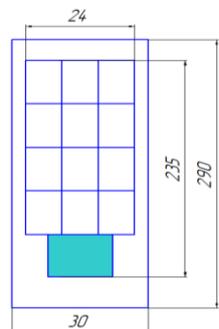
– нефтеналивных судов и составов с нефтью и/или нефтепродуктами, а также их остатками, независимо от температуры вспышки паров;

– сухогрузных судов и составов, судов технического флота с нефтеналивными самоходными судами и составами с нефтью и/или нефтепродуктами, а также их остатками, с температурой вспышки паров 60 °С и выше;

– пассажирских судов (в том числе скоростных) с сухогрузными судами и составами и судами технического флота.

Совместное шлюзование судов, перевозящих в качестве груза отравляющие, взрывчатые и радиоактивные вещества, с иными судами запрещается.

Вывод: согласно Приказу [3], можно без переформирования состава за одно шлюзование пропустить барже-буксирный состав, состоящий из 12-и секций проекта RBD-4608, а это 7 200 т грузоподъемности (рисунк).



Состав из 12-и секций в камере шлюза

The composition of 12 sections in the airlock chamber

В дополнение к Приказу необходимо учитывать, что перед и во время навигации каждый день с 6 ч утра до 9 ч утра происходит траление шлюза, таким образом, суда во время траления прошлюзуются

и не могут. Следовательно, самое раннее шлюзование флота происходит с 03:00 до 05:00, а также после 09:00, при этом с согласованием с расписанием работы пассажирского флота.

### Расписание линий работы флота модели У

При решении задачи формирования регулярных контейнерных линий предложен метод разделения водного пути на участки, связанные через рейды узловых портов и рейд переформирования составов, который напоминает изображение буквы У и который определяет следующие элементы контейнерной линии:

1. Короткое плечо, порт-спутник, 1 шлюз на коротком плече. Порт-спутник – это порт, который перегружает груз на суда для конкретного узлового порта. Для порта Нижний Новгород портом-спутником является Ярославль, для порта Октябрьск – порт Саратов, для порта Камбарка – порт Пермь.

2. Длинное плечо – транзит от переформирования до переформирования состава. Среднее расстояние между транзитными пунктами составляет ≈ 460 км. Если обратить внимание на схему, то можно увидеть фигуру равностороннего треугольника. Одинаковое расстояние между пунктами позволяет улучшить планирование работы флота, задавая ритм движения барже-буксирных составов [5].

Предлагаемый метод объединяет два типа построения самоходного состава:

– магистральный 12-секционный состав работает на длинных плечах;

– вспомогательный 4-секционный состав работает на коротких плечах.

Модель регулярной контейнерной линии включает следующие правила:

1. Количество двадцатифутовых эквивалентов (далее – ДФЭ) в 1 секции проекта RBD-4608 составляет 30 ед.

2. В каждом порту обработки при снятии фиксированного количества контейнеров обратно грузится такое же количество, чтобы грузоподъемность и грузовместимость каждой секции использовалась на 100 %.

3. Рейды узловых портов должны обеспечивать доформирование состава до 12-и единиц секций.

4. Рейд Камское Устье (рейд переформирования составов) обеспечивает перестановку (сортировку) отдельных секций таким образом, чтобы соблюдалась связанность каждого порта друг с другом [6].

### Производительность работы флота

В науке об эксплуатации речного флота значительное внимание всегда уделялось способам (формам) организации работы грузовых составов. Сложность выбора организационно-технологического решения для грузовых составов (по сравнению с грузовыми теплоходами) обусловлена тем,

что состав включает в себя несколько судов (толкач и баржи), работа которых требует согласования. При этом увеличивается число объектов управления, следовательно, возрастает число возможных решений и усложняется поиск наилучшего из них. Одним из наиболее важных вопросов в этой научно-практической области всегда был и есть выбор рационального способа тягового обслуживания несамоходных грузовых судов, который включает решение следующих задач:

- выбор формы закрепления тяги за тоннажем для основных маршрутов перевозок: постоянное закрепление (в следующих друг за другом рейсах баржи состава транспортирует один и тот же толкач) или раскрепление (в разных рейсах баржи транспортируют разные толкачи);

- выбор способа обслуживания тягой тоннажа – маршрутный (на всем маршруте движения баржевого состава его обслуживает один и тот же толкач) или участковый (в процессе транспортировки баржевого состава тяговые средства меняются);

- определение целесообразности, маршрутов и схемы использования сборных составов (число и состав транспортируемых толкачом барж может меняться в процессе транспортировки).

Решение этих задач требует учета большого числа факторов, характеризующих условия эксплуатации флота, в том числе:

- характеристики обслуживаемых грузопотоков (интенсивность грузопотока, расстояние перевозок, пространственная совместимость грузопотоков и др.);

- условия плавания на маршруте перевозок, наличие лимитирующих участков;

- производственные мощности портов в пунктах грузовой обработки;

- состав и количество буксирного и несамоходного флота в судоходной компании.

Выбор формы тягового обслуживания составов, прежде всего, влияет на время стоянки судов в портах и в пунктах переформирования составов [7].

Для повышения эффективности речной транспортной системы, согласно принципам теории ограничений Голдратта, увеличение производительности и провозной способности флота возможно за счет исключения времени ожидания буксиром-толкачом момента завершения погрузо-разгрузочных операций и времени ожидания толкачами прибытия друг друга.

Согласно предложенной модели, состав ТСК-395 + 4\*RBD-4608 проводит погрузочно-разгрузочные работы в порту Ярославль, затем следует порт Нижний Новгород. Далее в порту Нижний Новгород отдает эти баржи и забирает другие от состава, прибывшего из Камского Устья проекта 00443 + 12\*RBD-4608, следует обратно в порт Ярославль для проведения погрузочно-разгрузочных работ. Прибывший из Камского Устья состав проекта 00443 + 12\*RBD-4608 следует в Нижний Новгород, отдает 4 секции проекта ТСК-395, а оставшиеся 8 секций ставит под причал для погрузочно-разгрузочных работ. Затем следует до Камского Устья для обмена баржами, далее – обратно в Нижний Новгород с 12\*RBD-4608 [8]. Рассчитав эксплуатационные показатели работы флота и учитывая факторы, влияющие на шлюзование, можно составить расписание работы флота (табл. 2).

Таблица 2

Table 2

**Расписание портов-спутников по программе «минимум»**

**Schedule of satellite ports under the “minimum” program**

| Пункт                              | Расстояние, км | Движение, ч | Стоянка, ч | Момент            |
|------------------------------------|----------------|-------------|------------|-------------------|
| <i>Движение вниз</i>               |                |             |            |                   |
| Рейд Ярославль – прибытие          | 0              | –           | 11         | 25.04.2024, 02:00 |
| Рейд Ярославль – отправление       | 328            | 33          | –          | 25.04.2024, 13:00 |
| Городецкая ГЭС – прибытие          | 0              | –           | 2          | 26.04.2024, 22:00 |
| Городецкая ГЭС – отправление       | 70             | 6           | –          | 27.04.2024, 00:00 |
| Рейд Нижний Новгород – прибытие    | 0              | –           | 4          | 27.04.2024, 06:00 |
| <i>Движение вверх</i>              |                |             |            |                   |
| Рейд Нижний Новгород – отправление | 0              | –           | –          | 27.04.2024, 10:00 |
| Городецкая ГЭС – прибытие          | 70             | 8           | –          | 27.04.2024, 18:00 |
| Городецкая ГЭС – отправление       | 0              | –           | 2          | 27.04.2024, 20:00 |
| Рейд Ярославль – прибытие          | 328            | 33          | –          | 29.04.2024, 05:00 |
| Рейд Ярославль – отправление       | 0              | –           | 15         | 29.04.2024, 20:00 |

Расписание движения составов делается аналогично. Для Нижнекамского, Пермского, Тольяттинского шлюзов согласуем «окошко» для соблюдения расписания шлюзования. Смысл расписания сводится к тому, чтобы время подхода барже-буксирных составов для шлюзования обязательно выдерживать.

В программе «максимум» произойдет изменение в расписании движения и стоянки толкача с большей мощностью. Толкач не будет участвовать в грузовых работах в узловых портах, его задача – прийти в уз-

ловой порт, переформировать состав и отправиться в рейс. Какие же будут результаты в программе «максимум»? Время кругового рейса сократится на 1 сутки и потребность во флоте увеличится на несколько единиц флота в узловом порту.

Также в нашей модели формирования контейнерных линий как обязательное условие рассматривается связанность каждого порта отправления с каждым портом прибытия (табл. 3–5).

Таблица 3

Table 3

**Связанность линий «Ярославль – Саратов»\***

**Connectivity of Yaroslavl – Saratov lines**

| № рейса   | Пункт отправления | Дата и время отправления | Пункт прибытия  | Дата и время прибытия |
|-----------|-------------------|--------------------------|-----------------|-----------------------|
| ЯР-НН-1   | Ярославль         | 25.04.2024, 13:00        | Нижний Новгород | 27.04.2024, 08:00     |
| НН-КУ-1   | Нижний Новгород   | 27.04.2024, 10:00        | Камское Устье   | 29.04.2024, 08:00     |
| КУ-ОКТ-2  | Камское Устье     | 30.04.2024, 06:00        | Октябрьск       | 02.05.2024, 05:00     |
| ОКТ-САР-4 | Октябрьск         | 03.05.2024, 08:00        | Саратов         | 04.05.2024, 20:00     |

\*Баржа Бяр-3.

Таблица 4

Table 4

**Связанность линий «Ярославль – Пермь»\***

**Connectivity of Yaroslavl – Perm lines**

| № рейса   | Пункт отправления | Дата и время отправления | Пункт прибытия  | Дата и время прибытия |
|-----------|-------------------|--------------------------|-----------------|-----------------------|
| ЯР-НН-1   | Ярославль         | 25.04.2024, 13:00        | Нижний Новгород | 27.04.2024, 08:00     |
| НН-КУ-1   | Нижний Новгород   | 27.04.2024, 10:00        | Камское Устье   | 29.04.2024, 08:00     |
| КУ-КМБ-2  | Камское Устье     | 30.04.2024, 09:00        | Камбарка        | 02.05.2024, 06:00     |
| КМБ-ПРМ-4 | Камбарка          | 02.05.2024, 08:00        | Пермь           | 04.05.2024, 06:00     |

\*Баржа Бяр-1.

Таблица 5

Table 5

**Связанность линий «Ярославль – Нижний Новгород»\***

**Connectivity of Yaroslavl – Nizhny Novgorod lines**

| № рейса   | Пункт отправления | Дата и время отправления | Пункт прибытия  | Дата и время прибытия |
|-----------|-------------------|--------------------------|-----------------|-----------------------|
| ЯР-НН-9   | Ярославль         | 16.05.2024, 20:00        | Нижний Новгород | 20.05.2024, 04:00     |
| НН-КУ-9   | Нижний Новгород   | 21.05.2024, 10:00        | Камское Устье   | 23.05.2024, 08:00     |
| КУ-СВЖ-10 | Камское Устье     | 24.05.2024, 08:00        | Свияжск         | 24.05.2024, 18:00     |
| СВЖ-КУ-11 | Свияжск           | 28.05.2024, 22:00        | Камское Устье   | 29.05.2024, 08:00     |
| КУ-НН-12  | Камское Устье     | 30.05.2024, 08:00        | Нижний Новгород | 01.06.2024, 06:00     |

\*Баржа Бяр-4.

На следующем этапе необходимо рассчитать прогноз времени прибытия судов по расписанию. Для соблюдения расписания требуется применять регулирование режима скорости движения судна. Но мы рассматриваем более простой вариант регулировки времени через дополнительные стоянки. Время хода с грузом рассчитаем по рационально-экономичной скорости движения [9]. Время шлюзо-

вания не включает время ожидания, т. к. прибытие состава происходит в заранее согласованное время.

Расчет времени кругового рейса по участкам пути (табл. 6, 7) при полном согласовании работы барже-буксирных составов составит 6 суток. Далее рассчитаем эксплуатационные показатели работы составов на линиях по известным формулам [10].

Таблица 6

Table 6

**Расчет эксплуатационных показателей работы тяги проекта ТСК-395**  
**Calculation of the operational performance of the traction of the TSK-395 project**

| Величина  | Обозначение и порядок определения                  | Ярославль – Нижний Новгород | Пермь – Камбарка | Саратов – Октябрьск | Свияжск – Камское Устье | Общий итог |
|---|--|-----------------------------|------------------|---------------------|-------------------------|------------|
| Грузооборот, млн ткм  | $A_r = G^{BB} l_r^{BB} + G^{BH} l_r^{BH}$          | 66,9                        | 72,4             | 55,6                | 34,8                    | 229,7      |
| Размер судопотока в прямом направлении, ед.   | $m_{пр}$   | 35                          | 35               | 35                  | 35                      | 140        |
| Сило-рейсы с грузеными составами, тыс. л.с  | $\sum N_{пр} = 2m_{пр}N_p$                         | 42                          | 42               | 42                  | 42                      | 168        |
| Продолжительность кругового рейса, в том числе время хода с грузеными составами, сут      | $t_{кр}$   | 6                           | 6                | 6                   | 6                       | 24         |
|   | $\sum t_{x, rp} = t_{x, rp}^{BB} + t_{x, rp}^{BH}$ | 3,4                         | 3,7              | 2,8                 | 0,83                    | 10,73      |
| Среднесуточная потребность во флоте, ед. судов  | $\phi_r$   | 1                           | 1                | 1                   | 1                       | 4          |
| Продолжительность эксплуатационного периода, сут  | $t_3$  | 210                         | 210              | 210                 | 210                     | 210        |
| Сило-километры хода с грузеными составами, тыс. сило-км                                   | $\sum Nl_r = m_{пр}N_p(l_r^{BB} + l_r^{BH})$       | 16,7                        | 18,1             | 13,9                | 3,9                     | 52,6       |
| Сило-сутки, всего в эксплуатации, в том числе в ходу с грузеными составами, тыс. сило-сут | $\sum Nt_3 = \phi_r N_p t_3$                       | 126                         | 126              | 126                 | 126                     | 504        |
|   | $\sum Nt_{x, rp} = m_{пр}N_p \sum t_{x, rp}$       | 71,4                        | 77,7             | 58,8                | 17,4                    | 225,3      |
| Нагрузка по пробегу, т/л.с  | $P_{пр} = \frac{A_r}{\sum Nl_r}$                   | 4                           | 4                | 4                   | 9,0                     | 4,37       |
| Техническая скорость хода с грузеными составами, км/сут                                   | $u_r = \frac{\sum Nl_r}{\sum Nt_{x, rp}}$          | 234,1                       | 233              | 236,4               | 221,4                   | 233,4      |
| Коэффициент использования времени на ход с грузеными составами                            | $\tau_{x, rp} = \frac{\sum Nt_{x, rp}}{\sum Nt_3}$ | 0,57                        | 0,62             | 0,47                | 0,14                    | 0,45       |

Окончание табл. 6

Ending of table 6

| Величина                                 | Обозначение и порядок определения                 | Ярославль – Нижний Новгород | Пермь – Камбарка | Саратов – Октябрьск | Свияжск – Камское Устье | Общий итог |
|--|---|-----------------------------|------------------|---------------------|-------------------------|------------|
| Продолжительность среднего оборота, сут  | $\bar{t}_o = \frac{\sum N t_o}{\sum N_{pr}}$      | 3                           | 3                | 3                   | 3                       | 3          |
| Средний пробег с грузом за оборот, км    | $\bar{l}_{го} = \frac{\sum N l_{г}}{\sum N_{pr}}$ | 398                         | 431              | 331                 | 93                      | 313        |
| Валовая производительность, ткм/сило-сут | $P_{вал} = \frac{A_r}{\sum N t_o}$                | 530,7                       | 574,7            | 441,3               | 276,0                   | 455,7      |
|  | $P_{вал} = p_{пр} \tau_{х.гр} u_r$                | 530,7                       | 574,7            | 441,3               | 276,0                   | 455,7      |
|  | $P_{вал} = \frac{p_{пр} \bar{l}_{го}}{\bar{t}_o}$ | 530,7                       | 574,7            | 441,3               | 276,0                   | 455,7      |

Таблица 7

Table 7

**Расчет эксплуатационных показателей работы тяги проекта 00443**

**Calculation of the operational performance of the draft 00443**

| Величина   | Обозначение и порядок определения               | Нижний Новгород – Камское Устье | Октябрьск – Камское Устье | Камбарка – Камское Устье | Общий итог |
|--|---|---------------------------------|---------------------------|--------------------------|------------|
| Грузооборот, млн ткм   | $A_r = G^{BB} l_r^{BB} + G^{BH} l_r^{BH}$       | 230,8                           | 233,9                     | 224,3                    | 689        |
| Размер судопотока в прямом направлении, ед.  | $m_{пр}$  | 35                              | 35                        | 35                       | 105        |
| Сило-рейсы с грузеными составами, тыс. л.с   | $\sum N_{pr} = 2 m_{пр} N_p$                    | 189                             | 189                       | 189                      | 567        |
| Продолжительность кругового рейса, в том числе время хода с грузеными составами, сут | $t_{кр}$  | 6                               | 6                         | 6                        | 18         |
|  | $\sum t_{х.гр} = t_{х.гр}^{BB} + t_{х.гр}^{BH}$ | 3,67                            | 3,75                      | 3,58                     | 11         |
| Среднесуточная потребность во флоте, ед. судов                                       | $\Phi_r$  | 1                               | 1                         | 1                        | 3          |
| Продолжительность эксплуатационного периода, сут                                     | $t_3$   | 210                             | 210                       | 210                      | 210        |
| Сило-километры хода с грузеными составами, тыс. сило-км                              | $\sum N l_r = m_{пр} N_p (l_r^{BB} + l_r^{BH})$ | 86,6                            | 87,7                      | 84,1                     | 258,4      |

Окончание табл. 7

Ending of table 7

| Величина  | Обозначение и порядок определения                  | Нижний Новгород – Камское Устье | Октябрьск – Камское Устье | Камбарка – Камское Устье | Общий итог |
|---|--|---------------------------------|---------------------------|--------------------------|------------|
| Сило-сутки, всего в эксплуатации, в том числе в ходу с грузеными составами, тыс. сило-сут | $\sum Nt_3 = \phi_r N_p t_3$                       | 567                             | 567                       | 567                      | 1 701      |
|   | $\sum Nt_{x,gr} = m_{np} N_p \sum t_{x,gr}$        | 346,8                           | 354,4                     | 338,3                    | 1 039,5    |
| Нагрузка по пробегу, т/л.с  | $p_{np} = \frac{A_r}{\sum Nl_r}$                   | 2,67                            | 2,67                      | 2,67                     | 2,67       |
| Техническая скорость хода с грузеными составами, км/сут                                   | $u_r = \frac{\sum Nl_r}{\sum Nt_{x,gr}}$           | 249,6                           | 247,5                     | 248,6                    | 248,5      |
| Коэффициент использования времени на ход с грузеными составами                            | $\tau_{x,gr} = \frac{\sum Nt_{x,gr}}{\sum Nt_3}$   | 0,61                            | 0,63                      | 0,6                      | 0,61       |
| Продолжительность среднего оборота, сут   | $\bar{t}_o = \frac{\sum Nt_3}{\sum N_{pr}}$        | 3                               | 3                         | 3                        | 3          |
| Средний пробег с грузом за оборот, км   | $\bar{l}_{r_o} = \frac{\sum Nl_r}{\sum N_{pr}}$    | 458                             | 464                       | 445                      | 456        |
| Валовая производительность, ткм/сило-сут  | $P_{вал} = \frac{A_r}{\sum Nt_3}$                  | 407,1                           | 412,4                     | 395,6                    | 405,0      |
|   | $P_{вал} = p_{np} \tau_{x,gr} u_r$                 | 407,1                           | 412,4                     | 395,6                    | 405,0      |
|   | $P_{вал} = \frac{p_{np} \bar{l}_{r_o}}{\bar{t}_o}$ | 407,1                           | 412,4                     | 395,6                    | 405,0      |

### Рекомендации

Согласно данным табл. 6, на линии «Свияжск – Камское Устье» коэффициент использования времени на ход с грузеными составами очень низкий, т. к. расстояние составляет 93 км. Следовательно, можно увеличить данный показатель, чтобы состав мог забирать груз с соседних портов, например Чебоксары, Чистополь.

Приведем сравнение валовой производительности на примере с компанией ПАО «Иртышское пароходство». Валовая производительность тяги на перевозках сухогрузов составляет 250–270, а на нефтегрузах – 280–300 ткм/сило-сут; грузовых теплоходов – 70–110, самоходного сухогрузного тоннажа – 30–35, а наливного 50–55 ткм/тоннаже-сут [11]. В нашем случае показатели валовой производительности выше, чем у ПАО «ИРП», что

свидетельствует об эффективности работы флота.

### Результаты исследования

По программе «минимум» количество толкачей проекта 00443 составит 3 ед., проекта ТСК-395 – 4 ед., количество барж проекта RBD-4608 – 57 ед. Количество ДФЭ в одной секции проекта RBD-4608 составляет 30 ед. Результаты расчетов провозной способности по программе «минимум» представлены в табл. 8.

По программе «максимум» количество толкачей проекта 00443 – 3 ед., проекта ТСК-395 – 7 ед., количество барж проекта RBD-4608 – 81 ед. Время кругового рейса составов составит 5 суток, число отправок составов увеличится до 42. Провозная способность составов по программе «максимум» за навигацию составит 143 640 ДФЭ.

Avdolin D. I., Lisin A. A. On the method of forming regular container lines on the inland waterways of the European part of the Russian Federation

**Провозная способность по программе «минимум», ДФЭ**  
**Carrying capacity under the minimum program, TFE (two-foot equivalents)**

| Участок пути                    | Тип флота            | Провозная способность за круговой рейс | Провозная способность за навигацию | Общий итог за навигацию |
|---------------------------------|----------------------|--|------------------------------------|-------------------------|
| Ярославль – Нижний Новгород     | TCK-395 + 4*RBD-4608 | 240                                    | 8 400                              | 119 700                 |
| Пермь – Камбарка                | TCK-395 + 4*RBD-4608 | 240                                    | 8 400                              |                         |
| Октябрьск – Саратов             | TCK-395 + 4*RBD-4608 | 240                                    | 8 400                              |                         |
| Свияжск – Камское Устье         | TCK-395 + 9*RBD-4608 | 540                                    | 18 900                             |                         |
| Нижний Новгород – Камское Устье | 00443 + 12*RBD-4608  | 720                                    | 25 200                             |                         |
| Камбарка – Камское Устье        | 00443 + 12*RBD-4608  | 720                                    | 25 200                             |                         |
| Октябрьск – Камское Устье       | 00443 + 12*RBD-4608  | 720                                    | 25 200                             |                         |

### Заключение

Метод формирования регулярных контейнерных линий ставил задачу разработки схемы работы флота с максимально возможной провозной способностью. По приведенным расчетам, 57 ед. несамоходных секций общей грузоподъемностью 34 200 т тоннажа за навигацию перевезет почти 120 тыс. ед. контейнеров ДФЭ.

Общепринятые требования к работе регулярной контейнерной линии предполагают обязательное соблюдение расписания движения судов, гарантируя момент времени отправления и прибытия, а также установления публичных тарифов на перевозку контейнера. В предложенной модели мы намеренно рассматривали сценарий наличия груза для полного использования грузоподъемности и грузместимости секций. Если предположить

сценарий недостаточной грузовой базы, то в предлагаемом методе состав будет формироваться из меньшего числа секций (менее 12). Таким образом, метод обладает свойствами вариативности и гибкости, обеспечивая в любом сценарии оптимальное использование грузоподъемности, а значит, оптимальную себестоимость перевозок.

В обратном развитии событий при росте грузовой базы для наращивания провозной способности барже-буксирных составов схему модели  $Y$  можно масштабировать в 2 и в 3 раза больше. Следовательно, интервал отправления составов будет составлять от 1 до 2 суток. Согласованное расписание шлюзования позволит выдержать ритмичность работы барже-буксирных составов и обеспечивать высокую пропускную способность камер шлюза.

### Список источников

1. Детмер У. Теория ограничений Голдратта: системный подход к непрерывному совершенствованию / пер. с англ. М.: Альпина Бизнес Букс, 2008. 444 с.
2. Железнов С. В., Лисин А. А., Уртминцев Ю. Н., Липатов И. В. Исследование факторов восстановления грузовых речных перевозок на Единой глубоководной системе России // Науч. проблемы вод. трансп. 2021. № 69 (4). С. 197–208.
3. Об утверждении Правил пропуска судов через шлюзы внутренних водных путей: Приказ Министерства транспорта РФ от 03.03.2014 № 58. URL: <https://base.garant.ru/70712552/?ysclid=mkqiwbqof9594538084> (дата обращения: 20.11.2025).
4. Зубкова Е. В., Клементьев А. Н. Анализ методик определения значения критической скорости судна при заходе в камеру шлюза предельно малой ширины //

- Науч. проблемы вод. трансп. 2021. № 66 (1). С. 145–152.
5. Платов А. Ю., Платов Ю. И., Васильева О. Ю. Метод расчета расхода топлива судового дизеля при эксплуатационно-техническом обосновании судов внутреннего плавания // Мор. интеллектуал. технологии. 2020. № 4-1 (50). С. 121–127.
6. Авдонин Д. И., Лисин А. А. Моделирование работы барже-буксирных составов на регулярной речной контейнерной линии // Науч. проблемы вод. трансп. 2025. № 83 (2). С. 191–204.
7. Уртминцев Ю. Н. Современные способы тягового обслуживания речных грузовых составов // Науч. проблемы вод. трансп. 2024. № 81 (4). С. 223–230.
8. Базылев А. В., Бычков В. Я., Перевезенцев С. В., Плющаев В. И. Аппаратно-программный комплекс для автоматической швартовки судов // Науч. проблемы вод.

трансп. 2020. № 64. С. 196–207.

9. Платов А. Ю., Платов Ю. И. Концепция системы оперативного планирования отправления грузов из портов на внутренних водных путях // Науч. проблемы вод. трансп. 2022. № 71 (2). С. 180–187.

10. Разработка плана освоения перевозок грузов в судах: метод. указания по выполнению курсового проекта для студентов, обучающихся по направлениям под-

готовки 23.03.01 «Технология транспортных процессов» и 26.03.01 «Управление водным транспортом и гидрографическое обеспечение судоходства». Н. Новгород: Изд-во ВГУВТ, 2016. 36 с.

11. Григорьев Е. А. Экономическая оценка ресурсосберегающих технологий работы речных судов: дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск, 2014. 151 с.

## References

1. Dettmer W. *Goldratt's theory of constraints: a systems approach to continuous improvement*. Milwaukee, Wis.: ASQC Quality Press, 1997. 378 p. (Detmer U. Teoriya ogranichenij Goldratta: sistemnyj podhod k nepreryvnomu sovershenstvovaniyu / per. s angl. M.: Al'pina Biznes Buks, 2008. 444 s.).

2. Zhelezov S. V., Lisin A. A., Urtmincev Yu. N., Lipatov I. V. Issledovanie faktorov vosstanovleniya gruzovyh rechnyh perevozok na Edinoj glubokovodnoj sisteme Rossii [Investigation of the factors of restoration of freight river transportation on the Unified Deep-water System of Russia]. *Nauchnye problemy vodnogo transporta*, 2021, no. 69 (4), pp. 197-208.

3. *Ob utverzhenii Pravil propuska sudov cherez shlyuzy vnutrennih vodnyh putej: Prikaz Ministerstva transporta RF ot 03.03.2014 № 58* [On approval of the Rules for the passage of vessels through the locks of Inland waterways: Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation dated 03.03.2014 No. 58]. Available at: <https://base.garant.ru/70712552/?ysclid=mkqiw bqof9594538084> (accessed: 20.11.2025).

4. Zubkova E. V., Klement'ev A. N. Analiz metodik opredeleniya znacheniya kriticheskoj skorosti sudna pri zahode v kameru shlyuza predel'no maloj shiriny [Analysis of methods for determining the critical speed of a vessel when entering an extremely small-width airlock chamber]. *Nauchnye problemy vodnogo transporta*, 2021, no. 66 (1), pp. 145-152.

5. Platov A. Yu., Platov Yu. I., Vasil'eva O. Yu. Metod rascheta raskhoda topliva sudovogo dizelya pri eksploatacionno-tekhnicheskom obosnovanii sudov vnutrennego plavaniya [The method of calculating the fuel consumption of marine diesel in the operational and technical justification of inland navigation vessels]. *Morskie intellektual'nye tekhnologii*, 2020, no. 4-1 (50), pp. 121-127.

6. Avdonin D. I., Lisin A. A. Modelirovanie raboty barzhe-

buksirnyh sostavov na regul'noj rechnoj kontejnernoj linii [Simulation of the operation of barge-towing trains on a regular river container line]. *Nauchnye problemy vodnogo transporta*, 2025, no. 83 (2), pp. 191-204.

7. Urtmincev Yu. N. Sovremennye sposoby tyagovogo obsluzhivaniya rechnyh gruzovyh sostavov [Modern methods of traction maintenance of river freight trains]. *Nauchnye problemy vodnogo transporta*, 2024, no. 81 (4), pp. 223-230.

8. Bazylev A. V., Bychkov V. Ya., Perevezencev S. V., Plyushchaev V. I. Apparato-programmnyj kompleks dlya avtomaticheskoy shvartovki sudov [Hardware and software complex for automatic mooring of ships]. *Nauchnye problemy vodnogo transporta*, 2020, no. 64, pp. 196-207.

9. Platov A. Yu., Platov Yu. I. Konceptiya sistemy operativnogo planirovaniya otpravleniya gruzov iz portov na vnutrennih vodnyh putyah [The concept of an operational planning system for the departure of goods from ports on inland waterways]. *Nauchnye problemy vodnogo transporta*, 2022, no. 71 (2), pp. 180-187.

10. *Razrabotka plana osvoeniya perevozok gruzov v sudah* [Development of a plan for the development of cargo transportation in ships]. Metodicheskie ukazaniya po vypolneniyu kursovogo proekta dlya studentov, obuchayushchih'sya po napravleniyam podgotovki 23.03.01 «Tekhnologiya transportnyh processov» i 26.03.01 «Upravlenie vodnym transportom i gidrograficheskoe obespechenie sudoходства». Nizhnij Novgorod, Izd-vo VGUVT, 2016. 36 p.

11. Grigor'ev E. A. *Ekonomicheskaya ocenka resursosberegayushchih tekhnologij raboty rechnyh sudov: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Economic assessment of resource-saving technologies of river vessels: dis. ... Candidate of Technical Sciences]. Novosibirsk, 2014. 151 p.

Статья поступила в редакцию 26.11.2025; одобрена после рецензирования 20.01.2026; принята к публикации 13.02.2026  
The article was submitted 26.11.2025; approved after reviewing 20.01.2026; accepted for publication 13.02.2026

## Информация об авторах / Information about the authors

**Дмитрий Иванович Авдонин** — аспирант кафедры управления транспортом; Волжский государственный университет водного транспорта; awdonin.dmitrij2017@yandex.ru

**Dmitry I. Avdonin** — Postgraduate Student of the Department of Transport Management; Volga State University of Water Transport; awdonin.dmitrij2017@yandex.ru

**Александр Александрович Лисин** – кандидат технических наук; доцент кафедры управления транспортом; Волжский государственный университет водного транспорта; lisin\_aa@mail.ru

**Alexander A. Lisin** – Candidate of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department of Transport Management; Volga State University of Water Transport; lisin\_aa@mail.ru

