

УДК 656.62

**ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ВЫБОР СХЕМЫ ТЯГОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
БАРЖЕ-БУКСИРНЫХ СОСТАВОВ НА ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЯХ****Уртминцев Юрий Николаевич¹**, Доктор технических наук, профессорe-mail: yurtm@yandex.ru**Кислова Яна Александровна¹**, магистрантe-mail: janetruhanova@yandex.ru¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. В статье рассмотрены два основных метода тягового обслуживания грузовых составов на речном транспорте — «закрепление» и «раскрепление» тяги за тоннажем. На основе многовариантных расчетов проанализировано влияние расстояния перевозки, объема грузопотока и судо-часовых норм погрузочно-разгрузочных работ на экономическую эффективность каждого метода. В расчетах учтены дополнительные расходы по оплате услуг рейдового толкача при раскреплении тяги. Полученные результаты позволяют обоснованно выбирать рациональную схему работы флота в зависимости от конкретных условий эксплуатации.

Ключевые слова: речной транспорт, организация работы грузовых составов, формы тягового обслуживания несамоходных судов, выбор рациональной формы взаимодействия тяги и тоннажа.

**FACTORS INFLUENCING THE CHOICE OF TRACTION SERVICE SCHEME FOR
BARGE-TOW TRAINS ON INLAND WATERWAYS****Yuri N. Urtmintsev¹**, Doctor of Technical Sciences, Professore-mail: yurtm@yandex.ru**Yana A. Kislova²**, Master's Degree studente-mail: janetruhanova@yandex.ru¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The article discusses two main methods of traction maintenance of freight trains on river transport — "anchoring" and "loosening" traction for tonnage. Based on multivariate calculations, the influence of transportation distance, cargo volume, and ship-hour loading and unloading rates on the economic efficiency of each method is analyzed. The calculations take into account the additional costs of paying for the services of a raid pusher when the thrust is released. The results obtained make it possible to reasonably choose a rational fleet operation scheme depending on the specific operating conditions.

Keywords: river transport, the organization of freight trains, forms of traction services for non-self-propelled vessels, the choice of a rational form of interaction between traction and tonnage.

Введение

Речной транспорт в Российской Федерации играет важную роль в обеспечении логистических связей между регионами страны, особенно в Европейской части России. Однако в современных условиях эксплуатация баржебуксирных составов сталкивается с рядом проблем: устаревший возраст флота (средний возраст буксиров превышает 40 лет), недостаточная инфраструктурная поддержка, сезонность навигации и высокая стоимость содержания судов.

Ключевым резервом повышения эффективности является выбор рациональной формы закрепления толкачей за баржами. Существуют два основных метода:

- «Закрепление» — определенные баржи на протяжении всей навигации работают с одним и тем же толкачом. Этот подход упрощает управление флотом, но приводит к длительным простоям толкачей в портах.

- «Раскрепление» — толкач в течение навигации работает с различными баржами, оставляя их на грузовую обработку и забирая другие. Этот подход повышает производительность толкачей, но требует большего количества барж и дополнительных расходов на рейдовый толкач.

Цель данной работы — количественно оценить влияние основных факторов (расстояния перевозки, объема грузопотока и производительности портов) на выбор между этими методами и разработать практические рекомендации для судоходных компаний.

Методы анализа форм тягового обслуживания грузовых составов

Исследование выполнено для простой грузовой линии с односторонней загрузкой (состав из одной баржи, грузопоток только в прямом направлении).

Ниже в таблице 1 представлены варьируемые параметры, значения которых изменялись в ходе расчетов.

Таблица 1. Варьируемые параметры

Параметр	Обозначение	Варианты значений
Расстояние перевозки	L , км	300, 600, 900
Объем грузопотока за навигацию	G , тыс. т	200, 500, 700
Судо-часовая норма (производительность порта)	$B_{сч}$, т/ч	100, 200, 300

Таким образом, исследование охватывает 27 комбинаций условий эксплуатации, что позволяет получить достаточно полную картину влияния каждого параметра на эффективность схем тягового обслуживания.

В таблице 2 представлены параметры, принятые в расчётах неизменными, включая стоимость услуг рейдового толкача.

Таблица 2. Постоянные параметры

Параметр	Значение	Примечание
Грузоподъемность баржи	3000 т	—
Скорость движения состава	15 км/ч	—
Технико-технологическое время	0,125 сут (3 ч)	На одну операцию
Стоимость содержания толкача на стоянке	180 тыс. руб./сут	—
Стоимость содержания баржи на стоянке	25 тыс. руб./сут	—



Стоимость услуг рейдового толкача	50 тыс. руб./сут	—
-----------------------------------	------------------	---

В качестве экономического критерия использовано отношение эксплуатационных расходов на стоянке при «раскреплении» к расходам при «закреплении»:

$$K = \frac{\mathcal{E}_{\text{ст}}^{\text{раск}}}{\mathcal{E}_{\text{ст}}^{\text{закр}}} \quad (1)$$

- Если $K < 1$ — «раскрепление» выгоднее
- Если $K > 1$ — «закрепление» выгоднее
- Если $K = 1$ — оба варианта равнозатратны

Важное примечание: в расчетах учтены дополнительные расходы по оплате услуг рейдового толкача при раскреплении тяги и тоннажа. Таким образом, критерий отражает реальные эксплуатационные затраты флота.

Результаты расчетов

В результате многовариантных расчетов была получена сводная таблица коэффициентов эффективности K для всех комбинаций параметров. Данные представлены в таблице 3.

Таблица 3. Сводная таблица коэффициентов эффективности

L , км	G , тыс. т	$B_{\text{сч}} = 100\text{т/ч}$	$B_{\text{сч}} = 200\text{т/ч}$	$B_{\text{сч}} = 300\text{т/ч}$
300	200	0,26	0,48	0,67
	500	0,26	0,32	0,45
	700	0,26	0,32	0,45
600	200	0,41	0,75	1,04
	500	0,30	0,36	0,50
	700	0,25	0,31	0,43
900	200	0,32	0,59	0,82
	500	0,21	0,38	0,53
	700	0,25	0,31	0,43

Полученные значения коэффициента K показывают, что в большинстве случаев раскрепление тяги экономически выгоднее закрепления. Только в одном варианте ($L = 600$ км, $B_{\text{сч}} = 300\text{т/ч}$, $G = 200\text{тыс. т}$) коэффициент превышает 1,0.

Для наглядного представления зависимостей были построены графики. Рассмотрим их последовательно.

На рисунке 1 представлена зависимость коэффициента эффективности от объема грузопотока при расстоянии перевозки 300 км.



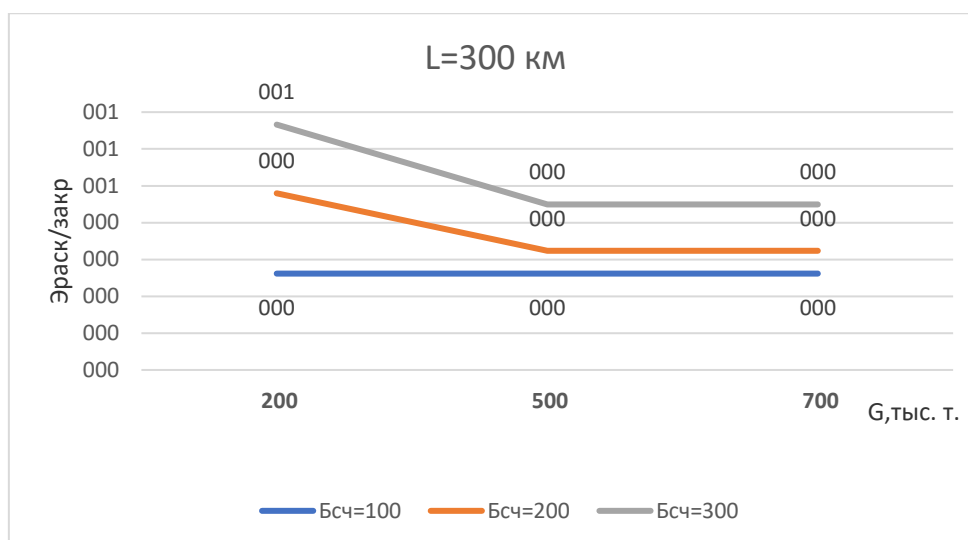


Рисунок 1 – Зависимость эффективности раскрепления от объема грузопотока при $L = 300$ км

На коротком расстоянии (300 км) раскрепление эффективнее закрепления при всех значениях судо-часовой нормы. Наиболее значительное преимущество наблюдается при низкой производительности порта ($B_{сч} = 100$ т/ч), где коэффициент составляет 0,26. Даже при высокой производительности (300 т/ч) K не превышает 0,67, что подтверждает целесообразность раскрепления.

На рисунке 2 показана зависимость для расстояния 600 км.

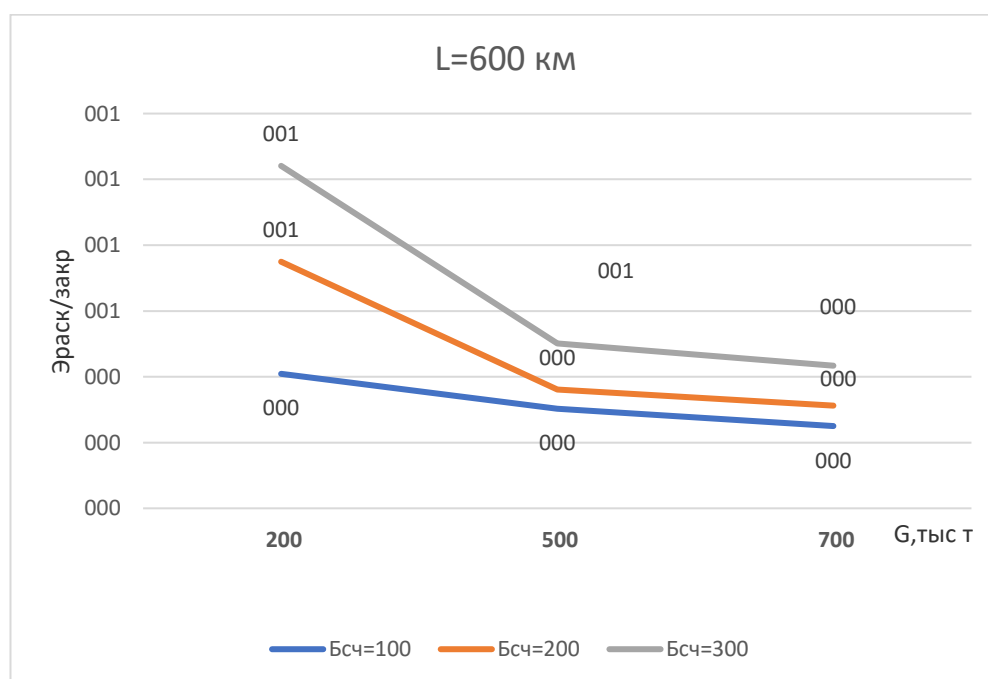


Рисунок 2 – Зависимость эффективности раскрепления от объема грузопотока при $L = 600$ км

На среднем расстоянии (600 км) характер зависимости меняется. При высокой производительности порта (300 т/ч) и малом объеме грузопотока (200 тыс. т) коэффициент превышает 1,0 ($K = 1,04$), что свидетельствует о преимуществе закрепления. В остальных случаях раскрепление остается эффективным.

На рисунке 3 изображена зависимость эффективности раскрепления для расстояния 900 км.

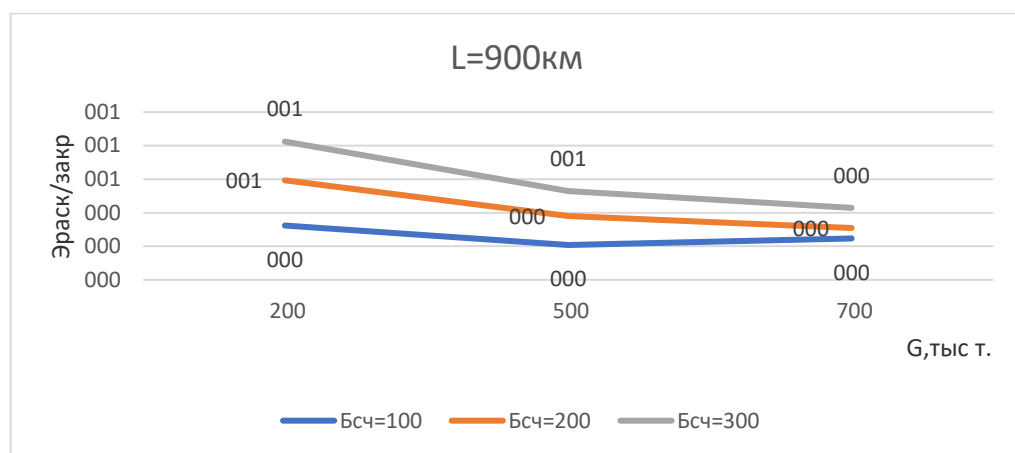


Рисунок 3 – Зависимость эффективности раскрепления от объема грузопотока при $L = 900$ км

На длинном расстоянии (900 км) преимущество раскрепления сохраняется, но становится менее выраженным. Наименьшие значения $K(0,21-0,25)$ достигаются при низкой производительности порта. При высокой производительности (300 т/ч) и малом грузопотоке K приближается к 0,8–0,9, что указывает на выравнивание эффективности обоих методов.

Для анализа влияния расстояния при фиксированной производительности порта построен отдельный график. На рисунке 4 представлено сравнение расстояний при судочасовой норме 200 т/ч.

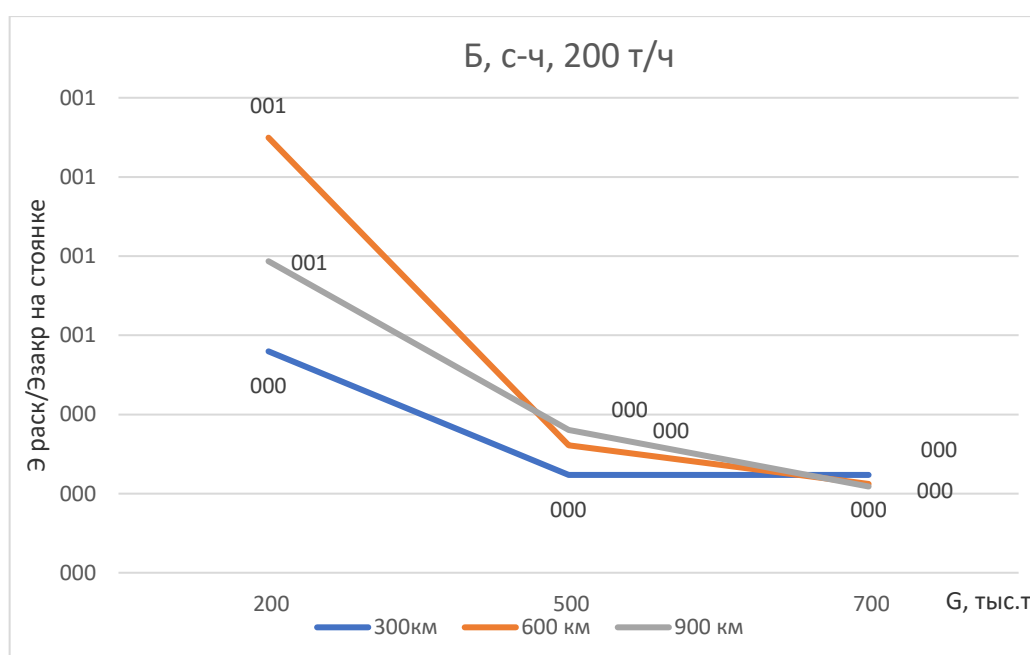


Рисунок 4 – Влияние расстояния перевозки на эффективность раскрепления при $B_{сч} = 200$ т/ч

На рисунке 4 представлено влияние расстояния перевозки на коэффициент эффективности при средней производительности порта. При малом объеме грузопотока (200 тыс. т) наблюдается выраженная зависимость от расстояния. При больших объемах грузопотока (500 и 700 тыс. т) коэффициент K стабильно находится в диапазоне 0,31–0,38 независимо от расстояния. Это подтверждает, что при интенсивном грузопотоке раскрепление эффективно на любых расстояниях.

Анализ результатов

Проанализируем полученные данные по каждому фактору.

Влияние расстояния перевозки. При увеличении расстояния с 300 до 900 км коэффициент K возрастает для большинства комбинаций параметров. Например, при $B_{сч} = 200$ т/ч и $G = 200$ тыс. т K увеличивается с 0,48 до 0,59. Это объясняется тем, что с ростом расстояния доля времени хода в общем рейсе увеличивается, а преимущество «раскрепления» за счет сокращения простоев становится менее значительным.

Влияние производительности порта. Наиболее сильное влияние на K оказывает судов- часовая норма. При $L = 300$ км и $B_{сч} = 100$ т/ч $K = 0,26$, а при $B_{сч} = 300$ т/ч $K = 0,67$. Это означает, что в портах с низкой производительностью «раскрепление» более чем в 2,5 раза выгоднее «закрепления», тогда как в высокопроизводительных портах разница сокращается.

Влияние объема грузопотока. Расчеты показали, что при фиксированных L и $B_{сч}$ коэффициент K практически не зависит от G . Объем перевозок влияет только на количество рейсов и потребное число судов, но не на соотношение расходов на стоянке.

Помимо изученных параметров, на рациональность выбора схемы оказывают влияние следующие факторы, которые могут быть предметом дальнейших исследований:

Строительная стоимость (балансовая стоимость) судов. В данном исследовании мы учитывали только эксплуатационные расходы на стоянке (содержание толкача и барж). Однако при выборе схемы тягового обслуживания важна также строительная стоимость судов, которая влияет на амортизационные отчисления и эффективность использования капитала. Анализ показывает, что строительная стоимость барж и толкачей отличается значительно меньше, чем стоимость их содержания в эксплуатации. Например, один новый толкач стоит 300–500 млн руб., а новая баржа — 50–80 млн руб.

Наличие тяги и тоннажа в судоходной компании (соотношение барж и толкачей). Этот фактор напрямую определяет, возможна ли реализация той или иной схемы. Если в компании значительное количество барж по сравнению с толкачами (соотношение 4:1 и выше), то создаются благоприятные условия для применения метода «раскрепление». В этом случае толкач всегда может найти готовую к отправке баржу и не будет простаивать в ожидании обработки. Если же барж мало (соотношение 2:1 или 3:1), то раскрепление становится проблематичным. Толкач, оставив баржу под погрузкой, может просто не найти другую готовую баржу, и его простой окажется даже больше, чем при закреплении.

Структура состава (количество барж в составе). Исследование выполнено для одно- баржевого состава. При многобаржевых составах эффект раскрепления усиливается.

Направленность грузопотока. При двухстороннем грузопотоке раскрепление даёт дополнительный выигрыш за счёт сокращения порожних пробегов толкача.

Гидрологические и навигационные условия (течение, шлюзы, ледовая обстановка), влияющие на скорость и время рейса.

Сезонность навигации и погодные риски — короткая навигация повышает требования к оборачиваемости флота.

Кадровый фактор (необходимость большего количества экипажей при частой смене барж).

Стоимостная динамика (цена топлива, амортизация, стоимость рейдовых работ). Рекомендуется проводить анализ чувствительности модели.

Практические рекомендации

На основе проведённого многовариантного анализа и расчётов коэффициента эффективности K (с учётом затрат на рейдовый толкач) разработаны чёткие рекомендации

по выбору рациональной схемы тягового обслуживания для одно-баржевого состава грузоподъемностью 3000 т. Рекомендации сведены в таблицу 4.

Таблица 4. Рекомендуемые схемы тягового обслуживания

Условия эксплуатации	Рекомендуемая схема	Коэффициент K	Комментарий
$L \leq 300$ км, любая $B_{сч}$	Раскрепление	0,26–0,67	Наиболее выгодный вариант при любых нормах обработки
$L = 600$ км, $B_{сч} \leq 200$ т/ч	Раскрепление	0,25–0,75	Высокая эффективность
$L = 600$ км, $B_{сч} = 300$ т/ч, $G = 200$ тыс. т	Закрепление	1,04	Единственный случай, когда закрепление явно выгоднее
$L = 900$ км, $B_{сч} \leq 200$ т/ч	Раскрепление	0,21–0,59	Максимальный экономический эффект
$L = 900$ км, $B_{сч} = 300$ т/ч	Раскрепление (с осторожностью)	0,43–0,82	Преимущество сохраняется, но разница сокращается

На основе полученных данных можно сформулировать следующие основные практические выводы.

1. «Раскрепление» тяги рекомендуется применять в следующих случаях (приоритетные условия):

- на коротких и средних расстояниях (до 600 км включительно);
- при низкой и средней производительности портов ($B_{сч} \leq 200$ т/ч);
- при устойчивом грузопотоке от 500 тыс. т за навигацию и выше.

В этих условиях раскрепление позволяет сократить эксплуатационные расходы на стоянке на 25–75 % по сравнению с закреплением за счёт повышения оборачиваемости толкачей.

2. «Закрепление» тяги целесообразно только в одном узком случае:

- расстояние 600 км;
- высокая судо-часовая норма ($B_{сч} = 300$ т/ч);
- малый объём грузопотока (200 тыс. т).

Во всех остальных комбинациях параметров раскрепление остаётся экономически более выгодным.

3. Дополнительные рекомендации для судоходных компаний:

- При планировании работы флота в первую очередь оценивайте производительность портов ($B_{сч}$) — это наиболее значимый фактор.
- Оцените фактическое соотношение барж и толкачей в вашей компании. Если оно ниже 4:1, рассмотрите аренду барж или упрощённую схему раскрепления.
- При расчёте экономической эффективности учитывайте не только эксплуатационные расходы, но и амортизацию (строительную стоимость судов).
- Если фактическая стоимость услуг рейдового толкача существенно отличается от принятой в расчётах, рекомендуется провести повторный анализ чувствительности.
- При переходе на раскрепление предусмотрите достаточное количество барж и организацию чёткого взаимодействия с портами для минимизации времени ожидания рейдового толкача.



Выводы по результатам исследований

Проведенное исследование позволило количественно оценить влияние трех ключевых факторов (расстояния перевозки, объема грузопотока и судо-часовых норм) на выбор между «закреплением» и «раскреплением» тяги с учётом дополнительных расходов на рейдовый толкач. Наиболее значимым фактором является производительность порта, вторым по значимости — расстояние перевозки. Объем грузопотока практически не влияет на коэффициент K , а определяет лишь необходимое количество рейсов.

Полученные результаты могут быть использованы судоходными компаниями при планировании перевозок, а также при формировании требований к портовой инфраструктуре. В условиях дефицита тягового флота переход на «раскрепление» позволяет повысить оборачиваемость толкачей на 20–40 % без дополнительных капитальных затрат.

Перспективы дальнейших исследований: расширение модели на многобаржевые составы, двухсторонние грузопотоки и анализ чувствительности к стоимости рейдовых работ.

Список литературы:

1. Союзов А.А. Организация работы речного флота: Учебник – М.: Речной транспорт, 1957. – 516 Организация работы флота и портов: Учебник / Под. ред. А.П. Ирхина. – М.: Транспорт, 1966. – 528 с
2. Куракин В.С. Исследование вопросов оптимального планирования работы буксирного и несамоходного флота: Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. канд. техн. наук. ГИИВТ. Горький, 1969. - 19 с.
3. Ваганов Г.И., Воронин В.Ф. Эффективность закрепления большегрузных составов на отдельные рейсы // Передовой опыт и новая техника. - Сборник ЦБНТИ МРФ, 1979, вып. II (35), с. 6-10.
4. Малышкин, А.Г. Организация и планирование работы речного флота: Учебник для вузов речного транспорта – М.: Транспорт, 1985. – 216 с.
5. Зачесов В.П., Филоненко В.Г. Технология и организация перевозок на речном транспорте: Уч. пос. для ВУЗов – Новосибирск: Сиб. соглашение, 2004. – 400 с.
6. Бабурин В.А., Бабурин Н.В., Дмитриев В.И. Управление работой флота / Учебник для ВУЗов – М.: Моркнига, 2013. – 368 с.
7. Уртминцев Ю.Н., Кислова Я.А. Анализ современных способов тягового обслуживания грузовых составов (на примере Волжского бассейна). //Транспорт. Горизонты развития. 2024: Материалы международного научно-практического форума. ФГБОУ ВО «ВГУВТ». – 2024. – URL: http://вф-река-море.pdf/2024/7_48.pdf
8. Уртминцев Ю.Н. Современные способы тягового обслуживания речных грузовых составов // Научные проблемы водного транспорта №81. URL: <http://journal.vsuwt.ru/index.php/jwt/article/view/545/450>
9. Авдонин, Д. И., Лисин, А. А. (2025). Моделирование работы барже-буксирных составов на регулярной речной контейнерной линии. Научные проблемы водного транспорта, (83), 191-204. <https://doi.org/10.37890/jwt.vi83.595>

