
METHODOLOGY FOR ASSESSING THE IMPACT OF GUARANTEED FAIRWAY DEPTH ON THE EFFECTIVENESS AND EFFICIENCY OF INTERMODAL FREIGHT TRANSPORT INVOLVING LOWER DANUBE RIVER LEG¹³

Asst. Prof. Boril Ivanov, PhD

Department of Transport

“Angel Kanchev” University of Ruse

Tel.: +359 82 888605

E-mail: bivanov@uni-ruse.bg

***Abstract:** The lower leg of the Danube River is characterised by dynamic hydrography and, due to the absence of hydrotechnical infrastructure solutions, fluctuating water levels frequently result in insufficient fairway depths. The inability to guarantee a minimum fairway depth throughout the year affects both the quality and cost of shipping. Hindrances to navigation have a negative impact particularly on intermodal transportation services using inland waterways where maintaining timetable is of crucial importance. The purpose of the present methodology is to provide intermodal transport operators with a model for assessing the impact of guaranteed fairway depth on main effectiveness and efficiency indicators in intermodal freight transport.*

***Keywords:** Danube, river shipping, fairway depth, intermodal transport, inland waterways*

JEL Codes:

ВЪВЕДЕНИЕ

Интермодалните превози на товари представляват ключов елемент от съвременната транспортна система, като осигуряват гъвкавост, икономичност и екологична устойчивост. Река Дунав, като втори по дължина и най-международен вътрешен воден път в Европа, играе съществена роля за европейската логистика, давайки възможност за снижаване на транспортните разходи при мултимодални и интермодални транспортни схеми, както и за развитието на мултимодалните и интермодалните връзки между страните в черноморския басейн, Централна и Западна Европа. Налице са обаче съществени разлики в развитието на мултимодалните и интермодалните превози, използващи различни участъци от реката. За разлика от горния и средния, в долният участък на река Дунав [1], в който попада и българо-румънската отсечка, не са изградени хидротехнически съоръжения за регулиране на нивото и по този начин осигуряване на целогодишно корабоплаване чрез минимално гарантирани дълбочини на фарватера. Ниските водни нива, респективно ограничените дълбочини на фарватера в различните отсечки, се отразяват негативно на корабоплаването [3]. Феноменално е, че макар и като цяло в долния си участък реката да е с по-голяма ширина и дълбочина спрямо средния и горния участъци, поради липсата на инфраструктурни решения за регулиране на водното ниво [6], именно в дония участък се наблюдават значителни периоди в годината с ограничения в газането на съдовете и дори затваряне на корабоплаването при екстремно ниски водни нива [4].

Ограниченията в газането на плавателните съдове засяга по специфичен начин мултимодалните и интермодалните превози с речна съставна. Причините за това се коренят в няколко технологични особености на двата вида превози.

На първо място, влияние има фактът, че в общия случай във водните отсечки от интермодалния транспорт [7], какъвто е напр. контейнерният [2], се извършва линейно

¹³ Докладът е представен на пленарната сесия на 24 октомври 2025 г. в секция Sustainable and Intelligent Transport Systems, Technologies and Logistics, с оригинално заглавие на български език: „Методика За Оценка На Влиянието На Гарантираната Дълбочина На Фарватера Върху Ефективността И Ефикасността На Интермодален Превоз На Товари, Включващ Отсечка В Долния Участък На Река Дунав”

корбоплаване, докато при мултимодален транспорт водната отсечка обичайно се изпълнява с чартърни превози, т.е. налице е трампово корабоплаване. Именно организационните специфики при двата вида превози са свързани с различния по обхват и степен ефект на ограниченията в корабоплаването.

Фарватерът представлява обозначената и поддържана част от реката, предназначена за безопасно преминаване на плавателни съдове. Гарантираната дълбочина е критичен параметър, определящ максимално допустимото газене на корабите, а оттам и тяхната фактическа товароносимост. Недостатъчната дълбочина на фарватера води до необходимостта от намаляване на количеството на приетия на борда товар и намаляване средната скорост на движение. Намаляването на средната скорост е най-осезаемо при превози с конвои от плавателни съдове и тласкач, при които се налага т.нар. *провлачване* на съдовете в конвоя един по един през участъка с ограничено газене и съответно стеснен фарватер. Освен провлачване, може да се наложи и попълно *облекчаване* на съдовете в конвоя. Логично тези операции водят до повишени разходи и удължен срок на доставка.

Необходимо е транспортните оператори да разполагат с методика, която дава възможност за бърза преценка на отражението на гарантираната дълбочина на фарватера върху основните показатели на ефективността и съответно на ефикасността при интермодалните превози.

МЕТОД

Разглеждат се отделно двете технологии - на конвойна работа и работа с отделни самоходни кораби. При самостоятелния превоз със самоходни кораби ефикасността се очаква да е значително по-ниска поради липсата на икономии от мащаба. Специфично е, че при конвенционалните и мултимодалните превози с речна отсечка е необходима по-голяма дълбочина на фарватера спрямо интермодалните превози, поради възможностите за по-ефективно използване капацитета на плавателните съдове. При интермодалните превози обикновено натоварването на съдовете е под тяхната максимална товароносимост и те се влияят в по-ниска степен от незначителни спадове в дълбочината на фарватера. От значение е най-вече да се избегне пълното компрометиране на превоза поради неспазване на графика. Това се отнася и за конвенционалния или мултимодалния превоз, но с уговорката, че факторът време там е със значително слабо влияние спрямо интермодалния вариант. Обичайно с интермодална технология се превозва готова продукция, а с конвенционална или мултимодална - основно суровини. Поради принципно по-ниската стойност на суровините спрямо готовата продукция, транспортният бюджет за последната е по-нисък и съответно предполага използване на превозни технологии с по-висока ефикасност за сметка на компромисна ефективност. Обратно, при интермодалните превози водеща е ефективността на превозната схема. Предвид липсата на инфраструктурни решения в долния участък на реката, следва да се сравнят вариантите за поддържане на интермодален сервиз при различни дълбочини на фарватера със самоходни кораби и с конвои от тласкач и несамоходни съдове (баржи). Съответно, да се заложат газения от 0.60 m до 2.50 m през 0.10 m и да се сравнява натоварването на съдовете при зададено тонсантиметрово число (TRC). Конвойната система ще предполага по-голям капацитет и съответно по-висока ефективност и ефикасност при близки нива до 2.50 m и с намаляването им, при достигане на ограничение в газенето равно на това на тласкача, ефективността ще започне рязко да клони към нула поради неспазен график и компрометиране на целия интермодален сервиз, а ефикасността ще започне да намалява в по-висока или по-ниска степен според времето на изчакване до повишаване на нивото. При конвойната система показателите ефективност и ефикасност ще са прекъснати величини в диапазона на газене от 0.60 m до 2.50 m , докато при превозите със самоходни кораби, макар и по-ниските ефикасност и ефективност, ще са близки до линейно зависими от дълбочината величини.

За да се оцени степента на засягане на ефективността и ефикасността на интермодалните превози с водна отсечка в долния участък на река Дунав, първо се определят показателите на ефективност и съответно на ефикасност, базирани на степента на постигане на трите основни характеристики на линейното корабоплаване, а именно:

1. Посещаване на конкретни пристанища по маршрута в определена последователност;
2. Поддържане на разписание, т.е. посещенията на корабите в конкретните пристанища са по предварително обявен график;
3. Прилагане на тарифи, характеризиращи се с относителна устойчивост във времето.

Ограниченията в допустимото газене на плавателните съдове засягат основно втората характеристика и в екстремни случаи първата, когато корабът въобще не може да достигне до товарното или получаващо пристанище. Третата характеристика също е засегната, но основно по отношение на разходите за интермодалния оператор, т.к. тарифите нямат обичайно нужната гъвкавост, освен ако предварително в общите условия са обявени *надбавки за ниски води*

Степента на постигане на всяка от първите две характеристики се приема за показател по ефективността на превоза, докато степента на постигане на третата характеристика - за показател по ефикасността на превоза.

Добавен е и още един показател, свързан както с ефективността, така и с ефикасността, а именно количеството превозен товар с плавателния съд, съотнесен към товароносимостта му. Попълното оползотворяване на товароносимостта се отразява благоприятно на общо превозените товари по линията, което е елемент от ефективността на превозите, както и съответно благоприятно на ефикасността, снижавайки транспортните разходи за тон превозен товар. Конкретно върху навлата, ниските нива на реката оказват влияние по две направления:

- Пряко влияние, чрез повишените разходи на тон товар поради неизполваната пълна товароносимост на плавателните съдове;
- Косвено влияние, чрез намаляване на свободния корабен тонаж на фрахтовия пазар поради ангажирането на повече от оптималния брой плавателни съдове за превоз на дадено количество товари и съответно ръст в навлата, свързан с намаленото предлагане на пазара.

Стойността на общия показател за ефективност и ефикасност - количеството превозен товар с плавателния съд, съотнесен към товароносимостта му, се определя на база намаляването на количеството товар на борда съобразно намаляването на ограничението в газенето със стъпка от 0.10 m. Тук директно може да се използва *тонсантиметровото число* на плавателния съд (TPC) което от своя страна е функция на площта на сечението на съда по водолинията му.

Ориентировъчния TPC, без отчитане на специфики в конструкцията на плавателния съд, може са изчислим по формулата:

$$TPC = \rho \frac{A_w}{100}, \quad t/cm \quad (1)$$

където:

A_w е площта на водолинията в m^2 при определено газене

ρ е плътността на водата, t/m^3

Площта на водолинията A_w в m^2 при максималното газене ще се определи по формулата

$$A_w = L_{bp} * B, \quad m^2 \quad (2)$$

където

L_{bp} е дължината между перпендикулярите в m

B е габаритната ширина на кораба или несамостоятелния плавателен съд в m

Плътността на прясната (речна) вода е $1.000 t/m^3$, а основната част от плавателните съдове, използвани в долния участък на река Дунав, са с товароносимост (DWCC), варираща между 1000 и 2500 t. С цел опростяване на изследването и с уговорката, че пренебрегваме зависимостта на TPC от конструктивните особености на плавателния съд, приемаме следните изходни стойности:

Самоходен кораб:

DWCC_к - 1000 t

L_{bp} – 70 m
 B_K – 11 m
 $D_{кп}$ газене празен – 1.20 m
 $D_{км}$ макс. газене – 2.50 m

Несамоходен плавателен съд:

$DWCC_{нс}$ – 1900 t
 L_{bp} – 80 m
 $B_{нс}$ – 12.50 m
 $D_{нсп}$ газене празен – 0.60 m
 $D_{нсм}$ макс. газене – 2.50 m

Гласкач:

$D_T = 1.60 - 1.80$ m

За ограничението в газенето d_o ще приемем, че започва от 2.50 m надолу.

При условно приета паралелепипедна форма и дължина между перпендикулярите L_{bp} 70 m за самоходен кораб и 80 m за несамоходен съд, габаритна ширина 11 m за самоходен кораб и 12.50 m за несамоходен съд, замествайки във формула (1) получаваме съответно:

за самоходен кораб

$$TRC_K = 1.000 \frac{70 \cdot 11}{100} = \frac{770}{100} = 7.7 \text{ t/cm}$$

и за несамоходен плавателен съд:

$$TRC_{нс} = 1.000 \frac{80 \cdot 12.50}{100} = \frac{1000}{100} = 10 \text{ t/cm}$$

Количеството товар, който може да се приеме на борда на кораба Q_K , съответно на несамоходния съд $Q_{нс}$, ще варира от максималната товароносимост до нула според ограничението в газенето d_o .



Фиг. 1 Изменение на количеството приет товар на борда на несамоходен съд $Q_{нс}$ и на кораб Q_K в зависимост от ограничението в газенето d_o .

При ефикасността може да се твърди, че тя е по-висока за конвойната технология, но само при $d_o > D_T$.

Само за ефективността определяме допълнителни показатели, за които въвеждаме точкуване както следва:

Таблица 1.

Точкуване на допълнителните показатели за ефективност по отношение на първата характеристика на линейното корабоплаване:

Показател	Точки
Възможност за посещаване на всички пристанища в линейния сервис	5

Невъзможност за посещение в едно пристанище от линейния сервиз	2
Невъзможност за посещаване на две и повече пристанища в линейния сервиз, водеща до компрометиране на цялостната логистика на интермодалния сервиз	0

По отношение на *първата характеристика* на линейното корабоплаване, при ограничение в газенето $d_o > 2.50$ m и двете технологии следва да получат по 5 точки. При $D_T < d_o < 2.50$ m, конвойната технология получава 2 точки, съответно тази със самоходни кораби 5 точки. При $D_{кп} < d_o < D_T$ конвойната технология получава 0 точки, съответно тази със самоходни кораби 2 точки.

Таблица 2.

Сравнение на ефективността на превозните технологии по отношение на *първата характеристика* на линейното корабоплаване:

Ограничение в газенето	Превоз със самоходни кораби	Превоз с конвои
$d_o > 2.50$ m	5 т	5 т
$D_T < d_o < 2.50$ m	5 т	2 т
$D_{кп} < d_o < D_T$	2	0

Таблица 3.

Точкуване на допълнителните показатели за ефективност по отношение на *втората характеристика* на линейното корабоплаване:

Показател	Точки
Възможност за успешно доставяне на товарите до получаващите пристанища на обявените по разписание дати без оглед на фактическите разходи (вкл. попътно облекчаване на плавателните съдове)	5
Очаквано закъснение в доставката в рамките на период от 2 до 5 денонощия	3
Очаквано закъснение за педиод от 6 и повече денонощия, компрометиращо напълно разписанието и цялостната логистика по маршрута	0

По отношение на *втората характеристика* на линейното корабоплаване, при ограничение в газенето $d_o > 2.50$ m и двете технологии следва да получат по 5 точки. При $D_T < d_o < 2.50$ m конвойната технология получава 3 точки, съответно тази със самоходни кораби 5 точки. При $D_{кп} < d_o < D_T$ конвойната технология получава 0 точки, съответно тази със самоходни кораби 3 точки.

Таблица 4.

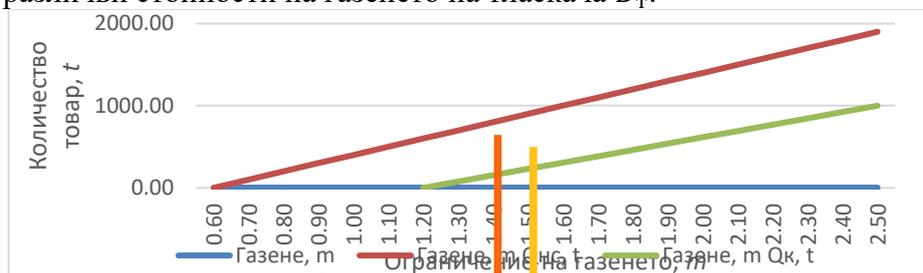
Сравнение на ефективността на превозните технологии по отношение на *втората характеристика* на линейното корабоплаване:

Ограничение в газенето	Превоз със самоходни кораби	Превоз с конвои
$d_o > 2.50$ m	5 т	5 т
$D_T < d_o < 2.50$ m	5 т	3 т
$D_{кп} < d_o < D_T$	3	0

Сумарната оценка на ефективността по всички показатели е: 25:15 в полза на използването на самоходни кораби.

Наслагвайки по вертикала върху фиг. 1 различни стойности на газенето за конкретния тласкач D_T (напр. 1.50, 1.60, 1.70 m), на фиг. 2 е показана визуалната възможност за бързо оперативно сравнение на ефективността и избор между двете технологии на превоз според конкретните

приоритети. При ограничения в газенето вляво от съответната вертикална линия, превозът с конвойна технология става невъзможен, докато този със самоходни кораби остава изпълним, макар при гранично ниски показатели за ефективност и ефикасност. Количествено сравнение може да се прави на база съпоставяне площта на триъгълниците, формирани от вертикалните линии, съответстващи на различни стойности на газенето на тласкача D_T .



Фиг. 2 Съпоставяне на ефективността и ефикасността на превозите със самоходни кораби и конвои според стойностите на газенето на тласкача D_T .

ИЗВОДИ

1. Зависимостта на ефективността и ефикасността от ограничението в газенето при конвойната технология на работа е практически линейна до момента на достигане ограничение в газенето $d_o < D_T$, което води до пълна невъзможност за изпълнение на превоза.

2. При превозната технология със самоходни кораби е налице практически линейна зависимост на ефективността и ефикасността от ограничението в газенето, като е възможно поддържане на превозната услуга, макар и с гранично ниски ефективност и ефикасност, за всички ограничения в газенето $d_o > D_{кп}$.

3. Интермодални превози в долния участък на река Дунав следва да се обслужват приоритетно със самоходни кораби, докато при конвенционален речен превоз и мултимодален такъв е обосновано използване на конвойна технология.

4. Предложената методика може да се доразвие с математически модел за прецизиране тежестта на отделните допълнителни показатели за ефективност.

REFERENCES

[1] Iliescu, L., & Dimitrov, S. (2024). Sediment Transport and Its Impact on Draft Limitation in the Danube Delta. *Geomorphology*, 430, 120765.

[2] Pallis, A.A., & Notteboom, T. (2018). "The Danube as a Container Transport Corridor." *Maritime Policy & Management*, 45(2), 239-253.

[3] Petrov, N., & Staneva, A. (2023). Climate Change and Its Effects on Water Levels and Navigability of the Lower Danube. *Hydrology Research*, 54(1), 45-62.

[4] Popescu, A., & Ivanov, D. (2024). Assessment of Navigational Constraints on the Lower Danube River due to Draft Limitations. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 150(2), 115-130.

[5] Radu, C., & Mihail, G. (2024). Economic Impacts of Draft Limitations on Inland Waterway Transport along the Lower Danube. *Transport Policy*, 137, 123456.

[6] Schmidt, R., Petrescu, M., & Varga, B. (2023). Hydraulic Engineering Solutions for Improving Navigability in the Lower Danube. *River Systems and Navigation*, 29(4), 201-218.

[7] Wiegmans, B., & Konings, R. (2017). "Intermodal Container Transport by Inland Waterways in Europe." *Transport Reviews*, 37(3), 354-372.