

FRI-2.203-2-TMS-06

---

## OPTIMIZING TIME TO TRANSPORT TRANSIT LOADS IN A MULTIMODAL SCHEME BETWEEN THE SEA AND RIVER PORTS WITH AUTOMOBILE TRANSPORT<sup>1</sup>

---

**Boril Ivanov, PhD student MEng.**

University of Ruse,  
Faculty of Transport  
Department of Transport  
Phone: 082 888 605  
E-mail: [bivanov@uni-ruse.bg](mailto:bivanov@uni-ruse.bg)

**Asen Asenov, Assoc. Prof. PhD MEng.**

University of Ruse,  
Faculty of Transport  
Department of Transport  
Phone: 082 888 605  
E-mail: [asasenov@uni-ruse.bg](mailto:asasenov@uni-ruse.bg)

**Velizara Pencheva, Prof. PhD MEng.**

University of Ruse, Bulgaria,  
Phone: 082 888 465  
e-mail: [vpenceva@uni-ruse.bg](mailto:vpenceva@uni-ruse.bg)

**Ivan Georgiev, Assist. Prof. PhD MEng.**

University of Ruse  
Department of Applied Mathematics and Statistics,  
Phone: 82 888 424  
E-mail: [irgeorgiev@uni-ruse.bg](mailto:irgeorgiev@uni-ruse.bg)

**Abstract:** *The report presents a model for synchronizing the port cargo handling operations with the truck scheduling and fleet management for transit of relatively large cargo lots between sea and river port terminals as a part of a multimodal supply chain. This option optimizes the vehicle downtime in case of insufficient number of trucks on the market. The results show that a smaller number of trucks can be involved keeping the costs close to the optimal level.*

**Keywords:** *freight transport, multimodal transport, road transport, port-to-port transit, synchronised truck scheduling, fleet management, synchronised terminal cargo handling, methodology, mathematical model*

**JEL Codes:** L91

### ВЪВЕДЕНИЕ

Разположението на Р. България на Балканския полуостров позволява да се развива мултимодален и интермодален превоз на товари, свързан основно с международни доставки. Това може да бъде реализирано благодарение на изградените пристанища на Черно море, сухопътната инфраструктура в страната, позволяваща жп и автомобилен транспорт, както и пристанищата по международната река Дунав. Изградената инфраструктура и наличният подвижен състав позволяват да се реализират приоритетите в Стратегията за развитие на транспортната система на Р. България до 2020 (Ministry of Transport, Information Technology

---

<sup>1</sup> Докладът е представен на пленарната сесия на 26 октомври 2018 с оригинално заглавие на български език: ОПТИМИЗИРАНЕ НА ВРЕМЕТО ЗА ПРЕВОЗ НА ТРАНЗИТНИ ТОВАРИ ПРИ МУЛТИМОДАЛНА СХЕМА МЕЖДУ МОРСКО И РЕЧНО ПРИСТАНИЩЕ С АВТОМОБИЛЕН ТРАНСПОРТ

and Communications, 2010) и следващата Интегрирана транспортна стратегия за периода до 2030 г, приета през 2017 г (Ministry of Transport, Information Technology and Communications, 2017). Тези приоритети са свързани с използване на предимствата на водния транспорт, интермодалните и мултимодални терминали. Във (Via Donau, 2013) са посочени предимствата на река Дунав, свързани с превоза на големи количества товари между 1000-2000 t със самоходен кораб, до 7 000 t с баржи, като и най-ниските разходи за транспортна инфраструктура и околна среда. Също така в (Désirée O., 2016) е направено сравнение за натоварването на река Дунав спрямо река Рейн, при което е отчетено, че количеството превозени товари по река Дунав е между 10% и 20% от това по река Рейн, което показва слабото ползване на река Дунав, което не съвпада с предвиденото в (European Commission, 2011), отразяващо добрите практики в различните държави, свързани с развитието на Дунавски регион.

За по-пълноценно използване на дунавските пристанища и река Дунав като плавателен път може да се насочат транзитни товари през пристанищата на Черно море. За Р. България това са основно пристанищата във Варна и Бургас, откъдето чрез мултимодална или интермодална схема, включваща сухопътен транспорт да се доставят товари до речните пристанища в Силистра, Русе, Свищов, Лом, Видин. В (Ivanov B. 2017) е предложена методика с възможните варианти за извършване на мултимодални превози на транзитни товари море-река с използването на автомобилен транспорт, като най-подходящ към момента за България. Също така, предимствата на мултимодалните превози са разгледани и в (Nikiforov V. 2013), който отчита и предимствата на логистиката. Предвид тенденцията към намаляване на автомобилите на пазара поради недостиг на водачи, интерес представлява определянето на броя товарни автомобили за превоз при мултимодална схема за транзитни товари между две пристанища и определяне на допустимите минимални разходи, отчитайки фактора наличен брой автомобили и минимален престой. Това е задача, която почти ежедневно се налага да решават спедиторите.

## ИЗЛОЖЕНИЕ

### 1. Описание на работата по маршрута при мултимодален превоз на транзитни товари с автомобили от морско до речно пристанище.

От направения преглед на превозите на транзитни товари между две пристанища с автомобили в (Ivanov B. 2017) са посочени три варианта, които реално могат да възникнат. Един от тях отчита синхронната работа на автомобилите с товаро-разтоварната дейност в отправното и получаващото пристанище, при което се прилага т.н. технология “cross-docking”, при която в отправното пристанище товарът се прехвърля директно от кораб на товарни автомобили. В случая не се предвижда престой на товарните автомобили в отправното и получаващото пристанище. Затова се определя оптималния брой товарни автомобили  $A_0$ , които биха се натоварили за времето в наряд. По въпросите на оптимизацията, подробна информация може да се намери в (Таха, Н. 1997), а за синхронна работа в изследването на (Lee D. 2014), който разглежда контейнерен терминал и графика на товарните автомобили, както и (Simeonov D. 2001), който представя как се определя производителността на товарните автомобили и синхронната работа на автомобилите в товаро-разтоварните пунктове в най-общия случай.

При определяне на математичния модел се отчита, че интервалът на подаване на автомобилите в отправното пристанище е съобразен с най-ниската от четирите пристанищни норми: кораб-автомобил и склад-автомобил в отправното пристанище, автомобил-кораб и автомобил-склад в получаващото пристанище.

Времето за оборот на автомобил  $t_0$  се определя по зависимостта

$$t_0 = t_T + t_{дв} + t_p, h, \quad (1)$$

където  $t_T$  и  $t_p$  са съответно времето за товарене на автомобила директно от кораба в отправното пристанище и времето за разтоварване директно в кораба в получаващото пристанище,  $h$ ;

$t_{дв}$  е времето за движение на автомобила за оборот, h.

Също така, времето заоборот може да се определи и по зависимостта

$$t_0 = \frac{q \cdot 24}{R_{02}} + \frac{2 \cdot l_{кт}}{V_T} + \frac{q \cdot 24}{R_{п2}}, \text{ h}, \quad (2)$$

където  $q$  е фактическата товароносимост на товарния автомобил, t;

$l_{кт}$  - дължината на курса с товар, km;

$V_T$  - техническата скорост на типа автомобил, km/h;

$R_{02}$  и  $R_{п2}$  са съответно товарната норма в отправното пристанище кораб-автомобил и разтоварната норма в получаващото пристанище автомобил-кораб, t/24h;

Броят необходими автомобили  $A_0$  за осигуряване непрекъснато товарене през времето на един оборот на автомобил зависи от по-голямото от времената за натоварване на един автомобил от кораба в отправното пристанище и разтоварването му директно в кораба в получаващото пристанище. Той се определя от

$$A_0 = \min f \left( \frac{t_0 \cdot R_{п2}}{q \cdot 24}, \frac{t_0 \cdot R_{02}}{q \cdot 24} \right), \text{ авт.} \quad (3)$$

При определяне на необходимия брой товарни автомобили, трябва да се има предвид, че може да възникнат следните ситуации:

1. Наличните товарни автомобили  $A$  са по – малко от необходимите  $A_0$  ( $A < A_0$ ).

В този случай за да няма престой на товарните автомобили, те пристигат за товарене в отправното пристанище през интервал, равен на най-голямото от времената за товарене кораб-автомобил и склад-автомобил в отправното пристанище, разтоварване автомобил-склад и автомобил-кораб в получаващото пристанище. В отправното пристанище се товари директно от кораб на автомобил, а през времето на изчакване на следващия автомобил се разтоварва от кораб на склад. След приключване на разтоварването на корабната партида се товари от склад на автомобили. Понеже не се разполага с необходимия брой товарни автомобили за непрекъснат превоз на партидата, ще има интервал между последния автомобил и второто пристигане на първия автомобил в получаващото пристанище. За да не възниква престой на кораба в получаващото пристанище, автомобилите се разтоварват първоначално на склад. Подаването на кораба за товарене в получаващото пристанище се планира към момента на пристигане на първия автомобил при последния му оборот и следва директно разтоварване на автомобилите в кораба в получаващото пристанище. Характерно за този подвариант е, че винаги се планира отложено подаване на втория кораб.

2. Наличните товарни автомобили  $A$  са равни на необходимите  $A_0$  ( $A = A_0$ ).

Тук автомобилите пристигат за товарене в отправното пристанище отново през интервал, равен на най-голямото от времената за товарене кораб-автомобил и склад-автомобил в отправното пристанище, разтоварване автомобил-склад и автомобил-кораб в получаващото пристанище. В случая не се планира отлагане в подаването на кораба в получаващото пристанище, което е с най-ниска норма и товаренето му се извършва директно от автомобилите.

3. Наличните товарни автомобили  $A$  с аповече от необходимите  $A_0$  ( $A > A_0$ ).

Ако се подадат повече от оптималния брой товарни автомобили, ще възникне престой на автомобилите в получаващото пристанище и затова няма да се разглежда.

**2. Определяне на показателите на работа по маршрута при  $A \leq A_0$ .**

Интервалът между първото пристигане на всеки един автомобил в отправното пристанище  $I$  се задава равен на най-голямото от четирите времена: за разтоварване автомобил-склад в получаващото пристанище, за натоварване автомобил-кораб в получаващото пристанище, разтоварване кораб-автомобил в отправното пристанище и натоварване склад-автомобил в отправното пристанище и кораба се подава със закъснение ако  $A < A_0$ . Той се определя по зависимостта

$$I = \max \left( \frac{q \cdot 24}{R_{п3}}, \frac{q \cdot 24}{R_{п2}}, \frac{q \cdot 24}{R_{02}}, \frac{q \cdot 24}{R_{03}} \right) \text{ h/авт.} \quad (4)$$

където  $R_{02}$  и  $R_{п2}$  са съответно нормата в отправното пристанище кораб-автомобил и нормата в получаващото пристанище автомобил-кораб, t/24h;

$R_{03}$  и  $R_{п3}$  - съответно нормата в отправното пристанище склад-автомобил и нормата в получаващото пристанище автомобил-склад,  $t/24h$ ;

Количеството товар  $Q_0$ , разтоварено от кораба на автомобили и склад по време на първия цикъл на всички налични на брой автомобили  $A$  се изчислява от

$$Q_0 = A \cdot \left( q + \left( \frac{1}{24} - \frac{q}{R_{02}} \right) \cdot R_{01} \right), t, \quad (5)$$

където  $R_{01}$  е разтоварната норма кораб-склад в отправното пристанище.

Времето  $t_1$ , през което в отправното пристанище няма подаден за товарене автомобил и се налага разтоварване на склад се получава

$$t_1 = t_0 - (A - 1) \cdot I - \frac{q \cdot 24}{R_{02}}, h. \text{ Ако } A < A_0 \text{ и то } t_1 = 0, \text{ ако } A = A_0. \quad (6)$$

Количеството товар  $Q_1$ , разтоварено на склад до връщане на първия автомобил за следващо натоварване, се получава е

$$Q_1 = t_1 \cdot \frac{R_{01}}{24}, t. \quad (7)$$

Броят обороти  $Z_1$  на всички налични автомобили за времето на разтоварване кораб-автомобил и кораб-склад до приключване разтоварването на кораба е

$$Z_1 = \left( \frac{Q}{Q_0 + Q_1} \right). \quad (8)$$

където  $Q$  е размерът на партидата,  $t$ .

Количеството  $Q_2$ , останало на борда на кораба преди автомобилите да започнат да товарят при последния си оборот е

$$Q_2 = Q - Z_1 \cdot (Q_0 + Q_1), t. \quad (9)$$

Броя на автомобилите  $Z_2$ , които последно ще доразтоварят кораба е

$$Z_2 = \min \left[ \left( \frac{A \cdot Q_2}{Q_0} \right), A \right]. \quad (10)$$

Количеството товар  $Q_3$ , разтоварено на склад при приключване на разтоварването на кораба е

$$Q_3 = Z_1 \cdot \left( \frac{1}{24} - \frac{q}{R_{02}} \right) \cdot R_{01} \cdot A + Z_1 \cdot Q_1 + Q_2 - Z_2 \cdot q, t. \quad (11)$$

Броя обороти  $Z_3$  за превозване на количеството от склада на отправното пристанище

$$Z_3 = \left( \frac{Q_3}{q} \right). \quad (12)$$

След това се определя общия брой обороти  $Z_4$  на първия автомобил

$$Z_4 = Z_1 + 1 + \left( \frac{Z_3}{A} \right). \quad (13)$$

Времето за пълно разтоварване на кораба включва:

- времето за товарене на един автомобил от кораб  $t_2 = \frac{q}{R_{02}}$ , дни;

- времето за разтоварване на склад между два автомобила  $t_3 = \frac{1}{24} - \frac{q}{R_{02}}$ , дни;

- времето за разтоварване на склад между два оборота  $t_4 = \frac{t_1}{24}$ , дни;

- общото време за пълното разтоварване на кораба

$$t_5 = A \cdot Z_1 \cdot (t_2 + t_3) + Z_2 \cdot (t_2 + t_3) + Z_1 \cdot t_4 + \frac{Q_2}{R_{01}}, \text{ дни};$$

- времето за превозване на товара от склада  $t_6 = Z_3 \cdot \frac{1}{24} + \left( \frac{Z_3}{A} \right) \cdot \frac{t_1}{24}$ , дни.

Оттук общото време  $t_7$  за превозване на целия товар до получаващия пункт е

$$t_7 = t_5 + t_6, \text{ дни}. \quad (14)$$

### 3. Определяне на общите разходи за обработване на товара по мултимодалната схема.

#### 3.1. Разходи за обработка в отправното пристанище.

Тези разходи включват: разходите за разтоварване кораб-склад  $C_{11} = Q_3 \cdot C_{kc}$ , евро, където  $C_{kc}$  е цената за разтоварване кораб-склад, евро; разходите за директно претоварване кораб-автомобил  $C_{12} = (Q - Q_3) \cdot C_{ka}$ , евро, където  $C_{ka}$  е цената за разтоварване кораб-автомобил, евро; разходите за натоварване склад-автомобил  $C_{13} = Q_3 \cdot C_{ca}$ , евро, където  $C_{ca}$  е цената за разтоварване склад-автомобил, евро.

$$C_{14} = C_{11} + C_{12} + C_{13}, \text{ евро.} \quad (15)$$

### 3.2. Разходи за съхранение на склад в отправното пристанище.

Тези разходи зависят от следните показатели: количеството товар разтоварено на ден в склада на отправното пристанище  $R_{04} = \frac{Q_3}{t_5}$ ,  $t$ ; натовареното количество на ден от склада в

отправното пристанище на автомобили  $R_{05} = f(Q_3 > 0; t_6 > 1; \frac{Q_3}{t_6}; Q_3)$ ,  $t$ ; общото количество

товар на склад  $Q_4 = [1 + n(t_5)] \cdot n(t_5) \cdot \frac{R_{04}}{2}$ ,  $t$ , където  $n$  е съответния ден в който се обработва

товар. Също така трябва да се има в предвид, че денят, в който е приключило разтоварването

на последното количество от кораба на склад и започва да се товари от склад на автомобили,

наличното количество на склад  $Q_5 = f\{t_6 > 1; Q_3 - [1 - t_5 + n(t_5)] \cdot R_{05}; t_6 < 1; 0\}$ ,  $t$ ; общото

количество товар до пълно освобождаване на склада  $Q_6 = [n(t_7) - n(t_5) - 1] \cdot Q_5 - [n(t_7) -$

$n(t_5)] \cdot [n(t_7) - n(t_5) - 1] \cdot \frac{R_{05}}{2}$ ,  $t$ ; времето на безмагазинажно (безплатно) съхранение на товара:

$Q_{11} = [T_1 + 1 + n(t_5)] \cdot [n(t_5) - T_1] \cdot \frac{R_{05}}{2} + Q_5 + Q_6$ ,  $t$ , ако  $T_1 < n(t_5)$ ;  $Q_{12} = Q_5 + Q_6$ ,  $t$ , ако  $T_1 = n(t_5)$ ;

$Q_{13} = (n(t_7) - T_1) \cdot Q_5 - (T_1 + n(t_7) - 2 \cdot n(t_5) - 1) \cdot (n(t_7) - T_1) \cdot \frac{R_{05}}{2}$ ,  $t$ , ако  $n(t_5) < T_1 < n(t_7)$ ;  $Q_{14} = 0$ ,  $t$ , ако

$n(t_7) \leq T_1$ ; разходите за транспорт  $C_H = Q \cdot C_1 \cdot I_{KT}$ , евро, където  $C_1$  е разходът в евро/ tkm.

Тогава разходите за наличното количество товар  $C_{15}$  на платен склад е

$$C_{15} = Q_{15} \cdot C_{KO}, \text{ евро,} \quad (16)$$

където  $C_{KO}$  е разходът за съхранение на склад в отправното пристанище, евро.

### 3.3. Разходи за товаро-разтоварни операции в получаващото пристанище.

Цялото количество товар, без последния оборот на автомобилите, се разтоварва първо на

склад. Затова се отчитат следните разходи: разход за разтоварване автомобил-склад:

$C_{21} = (Q - A \cdot q) \cdot C_{AC}$ , евро, ако  $\min(R_{03}, R_{02}) \geq R_{п3}$ ,  $A < A_0$ ;  $C_{21} = 0$ , евро, ако  $A = A_0$ ;  $C_{21} = (Q -$

$A \cdot q) \cdot C_{AC}$ , евро, ако  $(R_{03}, R_{02}) < R_{п3}$ . При последния оборот на автомобилите се разтоварва

директно от автомобили в кораб, затова разходите за разтоварване автомобили – кораб са:

If  $C_{22} = A \cdot q \cdot C_{AK}$ , евро, ако  $\min(R_{03}, R_{02}) \geq R_{п3}$ ,  $A < A_0$ ;  $C_{22} = 0$ , евро, ако  $A = A_0$ ;  $C_{22} =$

$A \cdot q \cdot C_{AK}$ , евро, ако  $\min(R_{03}, R_{02}) < R_{п3}$ . След това цялото количество на склад в получаващото

пристанище се натоварва на кораб, при което разходите за товарене склад – кораб са

$C_{23} = \frac{C_{21}}{C_{AC}} \cdot C_{CK}$ , евро, където  $C_{AC}, C_{AK}$  и  $C_{CK}$  са съответно разходите за предаване от автомобил в

склад, от автомобил на кораб и от склад на кораб.

За общите разходи за товаро-разтоварни операции в получаващото пристанище се получава

$$C_{24} = C_{21} + C_{22} + C_{23}, \text{ евро.} \quad (17)$$

### 3.4. Разходи за съхранение на склад в получаващото пристанище.

Те зависят от: количеството оставено товар на склад  $Q_7 = Q - A \cdot q$ ,  $t$ , ако  $\min(R_{03}, R_{02}) \geq$

$R_{п3}$ ,  $A < A_0$ ;  $Q_7 = 0$ ,  $t$ , ако  $A = A_0$ ;  $Q_7 = Q - A \cdot q$ ,  $t$ , ако  $\min(R_{03}, R_{02}) < R_{п3}$ ,  $t$ ; времето за разтоварване

на склад  $t_8 = t_7 - A \cdot \frac{q}{R_{п2}}$ ,  $h$ , ако  $\min(R_{03}, R_{02}) \geq R_{п3}$ ,  $A < A_0$ ;  $t_8 = 0$ ,  $h$ , ако  $A = A_0$ ;  $t_8 = t_7 - A \cdot \frac{q}{R_{п2}}$ ,  $h$ , ако

$\min(R_{03}, R_{02}) < R_{п3}$ ; разтовареното количество на ден  $R_{п4} = \frac{Q_7}{t_8} \cdot t/24h$ , ако  $\min(R_{03}, R_{02}) \geq R_{п3}$ ,

$A < A_0$ ;  $R_{п4} = 0$ ,  $t/24h$ , ако  $A = A_0$ ;  $R_{п4} = \frac{Q_7}{t_8} \cdot t/24h$ , ако  $\min(R_{03}, R_{02}) < R_{п3}$ .

Също влияние оказва общото разтоварено количество в платения период за съхранение на

получаващото пристанище, което ако  $n(t_8) \leq T_2$ , за този период няма да има товар за

платено съхранение и ако  $T_2 < n(t_8)$ , ще има следното налично количество в платения период

за съхранение:  $Q_{21} = [T_2 + 1 + n(t_8)] \cdot [n(t_8) - T_2] \cdot \frac{R_{п4}}{2}$ ,  $t$ , ако  $\min(R_{03}, R_{02}) \geq R_{п3}$ ,  $A < A_0$ ;  $Q_{21} = 0$ ,

$t$ , ако  $A = A_0$ ;  $Q_{21} = [T_2 + 1 + n(t_8)] \cdot [n(t_8) - T_2] \cdot \frac{R_{п4}}{2}$ ,  $t$ , ако  $\min(R_{03}, R_{02}) < R_{п3}$ ; времето за

претоварване от склад на кораб:  $t_9 = \frac{Q_7}{R_{п1}}$ ,  $h$ , ако  $\min(R_{03}, R_{02}) \geq R_{п3}$ ,  $A < A_0$ ;  $t_9 = 0$ ,  $h$ , ако  $A = A_0$ ;

$t_9 = \frac{Q_7}{R_{п1}}$ ,  $h$ , ако  $\min(R_{03}, R_{02}) < R_{п3}$ ; наличното количество за претоварване склад-кораб в

платения период за съхранение в получаващото пристанище, ако  $T_2 \leq n(t_8)$ :  $Q_{22} =$

$rd(t_9) \cdot Q_7 - [1 + rd(t_9)] \cdot rd(t_9) \cdot \frac{R_{n1}}{2} + [Q_7 - rd(t_9)] \cdot R_{n1}, t$ , ако  $\min(R_{o3}, R_{o2}) \geq R_{n3}$ ,  $A < A_0$ ;  
 $Q_{22} = 0, t, A = A_0$ ;  $Q_{22} = rd(t_9) \cdot Q_7 - [1 + rd(t_9)] \cdot rd(t_9) \cdot \frac{R_{n1}}{2} + [Q_7 - rd(t_9)] \cdot R_{n1}, t$ , ако  $\min(R_{o3}, R_{o2}) < R_{n3}$ ; в случай че  $T_2 < n(t_8 + t_9)$  тогава:  $Q_{23} = [rd(t_8 + t_9) - T_2] \cdot Q_7 - \{T_2 + [rd(t_8 + t_9) - 2 \cdot rd(t_8) - 1]\} \cdot [rd(t_8 + t_9) - T_2] \cdot \frac{R_n}{2}, t$ , ако  $\min(R_{o3}, R_{o2}) \geq R_{n3}$ ,  $A < A_0$ ;  $Q_{23} = 0, t, A = A_0$ ;  
 $Q_{23} = [rd(t_8 + t_9) - T_2] \cdot Q_7 - \{T_2 + [rd(t_8 + t_9) - 2 \cdot rd(t_8) - 1]\} \cdot [rd(t_8 + t_9) - T_2] \cdot \frac{R_n}{2}, t$ , ако  $\min(R_{o3}, R_{o2}) < R_{n3}$ ; в случай че  $T_2 \geq rd(t_8 + t_9)$  в периода за безмагазинажно съхранение в получаващото пристанище ще има наличност 0 t; общо количество товар в платения период на склад в получаващото пристанище, при претоварване на склада на кораб,  $Q_{24}, t$ , която се избира според  $T_2$  от  $Q_{21}$  до  $Q_{23}$ ; разходи за съхранение на склад в получаващото пристанище  $C_{25} = Q_{24} \cdot C_{скп}$ , евро, където  $C_{скп}$  са разходите за 24h съхранение в склада на получаващото пристанище, евро.

От тук общите разходи са следните

$$C = C_{14} + C_{15} + C_{24} + C_{25} C_n, \text{ евро}, \quad (18)$$

#### 4. Определяне на разходите за транзитен превоз по мултимодалната схема море - автомобил – река.

Чрез създадения модел са определени разходите при транзитен превоз на товари от кораб в морско пристанище до кораб в речно пристанище с товарни автомобили и ползване на складове в пристанищата в случай на необходимост, по представената в началото методика. За целта са използвани примерни данни близки до реалните като порядък, характерни за българските условия, представени в Табл. 1.

Таблица 1. Основни параметри на транзитния превоз

<b>ОСНОВНИ ПАРАМЕТРИ</b>	<b>Мярка</b>	<b>Означение</b>	<b>Стойност</b>
Размер на партидата	t	Q	6000
Товароносимост на автомобил	t	q	20
Разстояние между пристанищата	km	$l_{кт}$	200
Скорост автомобил	km/h	$V_r$	50
Навло	евро/tkm	$C_1$	0,05
Цена на престой	евро/h	$C_2$	2,00
Налични автомобили	брой	K	22
<b>ПАРАМЕТРИ ОТПРАВНО МОРСКО ПРИСТАНИЩЕ</b>	<b>Мярка</b>	<b>Означение</b>	<b>Стойност</b>
Норма кораб-склад	t/24h	$R_{o1}$	3000
Норма кораб-автомобил	t/24h	$R_{o2}$	2200
Норма склад-автомобил	t/24h	$R_{o3}$	2300
Цена за претоварни операции кораб-склад	евро/t	$C_{kc}$	2,00
Цена за претоварни операции кораб-автомобил	евро/t	$C_{ka}$	2,50
Цена за претоварни операции склад-автомобил	евро/t	$C_{ca}$	1,00
Безмагазинажно съхранение	дни	$T_1$	2,00
Такса склад	евро/t/ден	$C_{cko}$	0,10
<b>ПАРАМЕТРИ ПОЛУЧАВАЩО РЕЧНО ПРИСТАНИЩЕ</b>	<b>Мярка</b>	<b>Означение</b>	<b>Стойност</b>
Норма склад-кораб	t/ден	$R_{n1}$	1500
Норма автомобил-кораб	t/ден	$R_{n2}$	1200
Норма автомобил-склад	t/ден	$R_{n3}$	1300
Цена за претоварни операции склад-кораб	евро/t	$C_{ck}$	1
Цена за претоварни операции автомобил-кораб	евро/t	$C_{ak}$	1,3
Цена за претоварни операции автомобил-склад	евро/t	$C_{ac}$	0,6

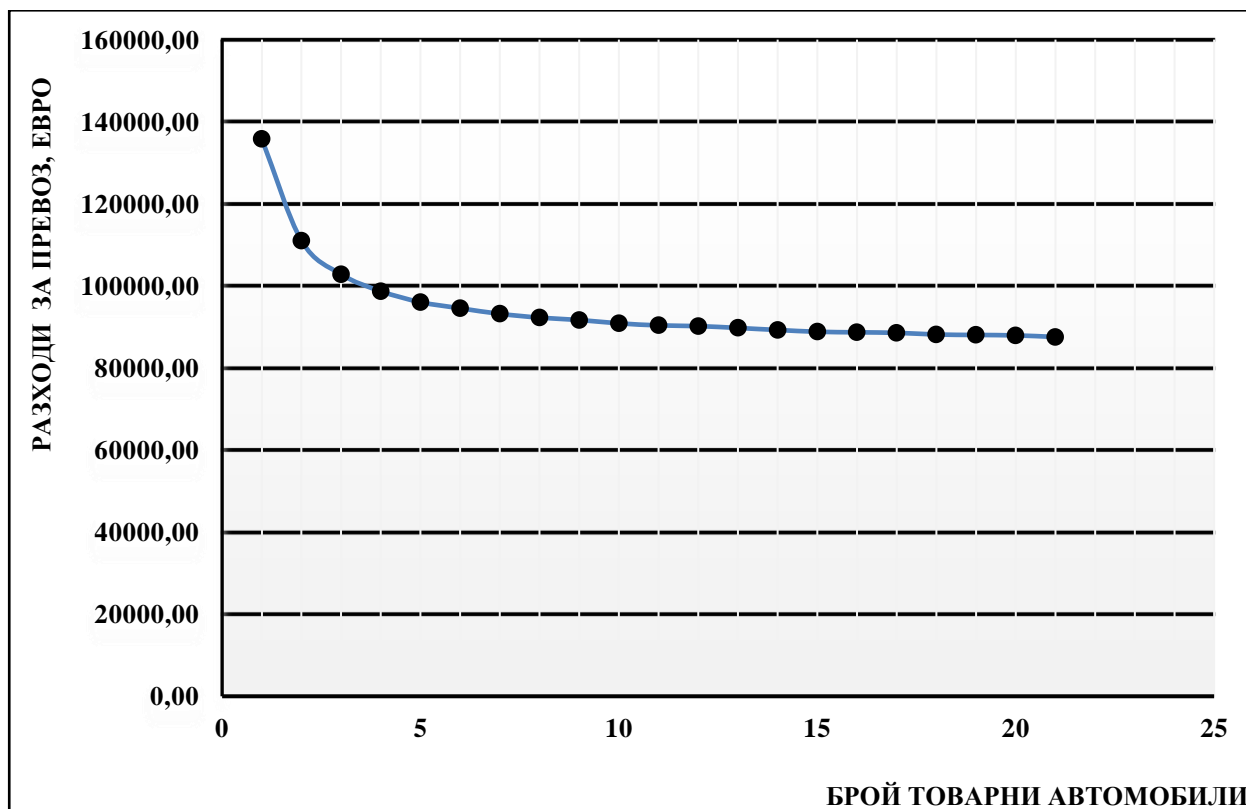
Безмагазинажно съхранение	дни	T <sub>2</sub>	1
Такса склад	евро/t за ден	Cскп	0,05

Чрез посочените данни в табл.1 са изчислени изследваните показатели в табл. 2, където са представени и общите оптимални разходи за превоза. Резултатите показват, че минималните разходи са 84 845,59 евро при ползване на 22 автомобила и складови разходи само в отправното пристанище от 16 600 евро. При тази схема първият кораб започва да се разтоварва веднага след неговото пристигане и се освобождава от товара за 2,45 дни. Докато вторият кораб се позиционира по-късно за натоварване с 0,17 дни, понеже товарната норма на неговото пристанище е значително по-ниска.

Таблица 2. Получени общи минимални разходи за превоза

ИЗСЛЕДВАНИ ПОКАЗАТЕЛИ	Количество	Мярка
Време за разтоварване на морския кораб	2,45	дни
Общо време за обслужване на товара	5,12	дни
Позициониране на речния кораб от началото на обслужване	0,17	дни
Брой пълни курсове на първия от наличните автомобили	14,00	брой
Интервал между първо тръгване на автомобилите	24,00	min/avt
Брой необходими автомобили за пълен цикъл	22,00	брой
Разходи за претоварни операции в отправното пристанище	16600,00	евро
Разходи за претоварни операции в получаващото пристанище	7800,00	евро
Складови разходи в отправното пристанище	445,59	евро
Складови разходи в получаващото пристанище	0,00	евро
Навло	60000,00	евро
Общи разходи	84 845,59	евро

След създаване на модела за определяне на разходите за мултимодален превоз на товара, в Matlab R2017 с curve fitting toolbox е определено влиянието на броя на автомобилите върху общите разходи за услугата, фиг.1. Резултатите показват, че при ползване на до 5 автомобила характерът на зависимостта е нелинеен и влиянието на броя на автомобилите върху общите разходи е много голямо, разходите от 136 000 евро намаляват на 96 000 евро, което е 29,4%. След това законът на изменение става почти линеен и разходите плавно намаляват до 22 автомобил на 84 845,59 евро, където разликата между 5 и 22 автомобил е 11,7%, което средно променя общите разходи с 1,7% между отделните автомобили.



Фиг. 1 Изменение на разходите за превоз от броя на товарните автомобили

Уравнението, което описва опитните данни за общите разходи  $C$  в зависимост от броя на товарните автомобили  $x$ , с достатъчна точност и коефициент на детерминация  $R^2 = 0.996$ , има вида:

$$C = a \cdot x^b + c, \tag{19}$$

където  $a = 52620.18$  ( $5.109 \cdot 10^4$ ,  $5.415 \cdot 10^4$ );  
 $b = -0.9615$  ( $-1.033$ ,  $-0.8904$ );  
 $c = 8.485 \cdot 10^4$  ( $8.383 \cdot 10^4$ ,  $8.586 \cdot 10^4$ ).

Всички коефициенти са статистически значими, понеже доверителните интервали не съдържат нула.

В случая функцията  $C(x) = a \cdot x^b + c$ , има асимптота при  $x \rightarrow \infty$ , т.е.  $\lim_{x \rightarrow \infty} C(x) = c = 84\,845.59$ .

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представената методика и описан математичен модел осигуряват предварително изчисляване на всичките разходи за превоз на транзитни товари с автомобили между две пристанища, като отчитат следните експлоатационни показатели и финансови разходи, важни за сключване на транспортната сделка и организацията на транспортния процес: фактическата норма за разтоварване на първия кораб; общото време за превоз на товара, включително обработка в двете пристанища; времето за подаване на втория кораб от началото на разтоварване на първия; броят пълни курсове на наличните автомобили; интервала на движение на автомобилите; броят необходими автомобили; разходите за обработка в отправното и получаващото пристанище; разход за складиране в отправното и получаващото пристанище; разходите за навла и общите разходи. Чрез тях може, използвайки широкодостъпни приложения като напр. Matlab, или целево разработен програмен продукт, мултимодалните транспортни оператори бързо и прецизно да оферират, както и да планират логистичните процеси по веригата.



Направена е симулация за определяне на разходите за превоз, спрямо наличния и оптималния брой товарни автомобили за превоз на транзитни товари между две пристанища, като са използвани примерни данни близки до реалните като порядък. Резултатите показват, че при съществуващите експлоатационни показатели и разходи по веригата за превоз на предложеното количество товар, след определяне на петия товарен автомобил, разходите се изменят почти по линеен закон в малки граници с 1,7%.

Влиянието на броя товарни автомобили върху общите разходи за превоз на товара е много голямо за първите пет автомобиля, понеже достига 29,4%, като намалява разходите от 136 000 евро на 96 000 евро. След това от петия автомобил, разходите плавно намаляват до 22 автомобиля на 84 845.59 евро, където разликата между 5 и 22 автомобил е 11,7%.

При определяне на математичния модел, описващ с достатъчна точност опитните данни при които се определят пълните разходи за транзитен превоз от едно пристанище до друго, спрямо броя налични и необходими товарни автомобили, се получава уравнение от вида  $a \cdot x^b + c$ , с  $R^2 = 0,996$  и асимптота при  $x \rightarrow \infty$ , т.е  $\lim_{x \rightarrow \infty} C(x) = c = 84\,845.59$ .

### ACKNOWLEDGEMENT

Изследванията са подкрепени по договор на Русенски университет "Ангел Кънчев" с № BG05M2OP001-2.009-0011-C01, „Подкрепа за развитието на човешките ресурси в областта на научните изследвания и иновации в Русенски университет "Ангел Кънчев", финансиран по Оперативна програма „Наука и образование за интелигентен растеж“ 2014-2020”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз“.

Докладът отразява резултати от работата по проект № 2018 - РУ - 06, финансиран от фонд „Научни изследвания“ на Русенския университет.

### REFERENCES

- Lee D., Cao J., Shi Q. (2014). *Synchronization of Yard Truck Scheduling and Storage Allocation in Container Terminals*. National University of Singapore
- Nikiforov V. (2013). *Multimodalnie perevozki I transportnaq logistika*. Novosibirsk: NGAVT, 103 p. (**Оригинално заглавие:** *Никифоров В. 1999. Мультимодальные перевозки и транспортная логистика. Новосибирск: НГАВТ, 103 с.*)
- Ivanov B., Asenov A, Pencheva V. (2017). *Methodology for selecting a scheme for arranging port cargo handling and port-to-port carriage of transit goods by road as a part of multimodal transport*. RU&SU'2017. 56th Science Conference of Ruse University, Ruse, ISSN 1311-3321
- Simeonov D., Pencheva V. (2001). *Vzaimodejstvie mezdju vidovete transport*. Ruse, (**Оригинално заглавие:** *Симеонов Д., В. Пенчева. 2001. Взаимодействие между видовете транспорт. Русе.*)
- Таха, Н. (1997). *Operation Research. An Introduction*. University of Arcansas. Prentice Hill.. ISBN 0-13-272915
- Via Donau. (2013). *Manual on Danube Navigation*. Vienna, Austria. ISBN 978-3-9502226-2-3.
- Ministry of Transport, Information Technology and Communications. (2010). *Strategy for Development of the Transport System of the Republic of Bulgaria until 2020*. Sofia, Bulgaria.
- Ministry of Transport, Information Technology and Communications. (2017). *Integrated Transport Strategy for the Period Until 2030*. Sofia. [http://www.optransport.bg/upload/docs/Integrated\\_Transport\\_Strategy\\_2030\\_en.pdf](http://www.optransport.bg/upload/docs/Integrated_Transport_Strategy_2030_en.pdf) (Accessed on 16.10.2018).
- European Commission. (2011). *Strategy for the Danube Region: A History of Success*; [http://ec.europa.eu/regional\\_policy/sources/cooperate/danube/documents/eusdr\\_success\\_stories\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/cooperate/danube/documents/eusdr_success_stories_en.pdf) (Accessed on 16.10.2018).
- Désirée O., Theologitis D., Urrutia B. (2016). *Inland navigation developments in the EU 2016*. Eighty-seventh session of the Danube Commission. Budapest.