

**МОДЕЛ ЗА ОПТИМИЗИРАНЕ НА ОПЕРАТИВНОТО УПРАВЛЕНИЕ НА
ПРЕВОЗНИЯ ПРОЦЕС ПО ФИДЕРНИ КОНТЕЙНЕРНИ ЛИНИИ В
ЧЕРНОМОРСКИЯ РЕГИОН**

Анета Върбанова

Технически университет

Факултет по морски науки и екология

ул. Студентска 1, 9010 Варна, България

anneta_varbanova@hotmail.com

**OPTIMIZATION MODEL FOR OPERATIONS PLANNING OF THE
TRANSPORTATION PROCESS ON CONTAINER FEEDER LINES IN THE BLACK SEA
REGION**

Aneta Varbanova

Technical University

Faculty of Maritime Studies and Ecology

1, Studentska Str, 9010 Varna, Bulgaria

anneta_varbanova@hotmail.com

ABSTRACT

The present article presents a model for optimization of operational planning in the transportation of containerized general cargoes on feeder lines in the Black Sea region. The developed algorithm is applicable for analysis of the efficiency indicators of the transportation process presented as a queuing system. Operational planning decisions for enhancement of efficiency of the system through total costs decrease for the liner operator are analyzed in detail.

Key words: container feeder lines, queuing system, transportation efficiency, transportation process modelling

Превозът на контейнеризирани генерални товари в Черноморския регион се извършва в рамките на фидерни корабни линии. Фидерните корабни линии са с регионално значение за линейното корабоплаване и се състоят от определен брой пристанища, които се посещават в определена последователност от контейнерни кораби.

Превозният процес на контейнеризирани генерални товари по фидерни линии в Черноморския процес се разглежда като система за масово обслужване. Времето за престой на заявките (контейнерите) в системата за масово обслужване обхваща периода от момента на постъпване на контейнерите в терминалите за изчакване за натоварване до разтоварването им от съответния кораб по фидерната линия. Корабите превозват генерални товари в контейнери като за целите на настоящото изследване броят на превозените контейнери ще бъде приравнен към брой TEU (брой единици в двадесетфутов еквивалент).

Системата за масово обслужване при превоза по фидерни линии има следните общи компоненти: входящи потоци от контейнери (заявки) в системата; брой и превозна способност на контейнерни кораби (обслужващите устройства); време за обслужване на заявките – времето, през което контейнерите се натоварват, превозват и разтоварват от корабите и напускат системата като обслужени заявки. Дисциплината на обслужване е свързана с процеса на разпределение на контейнерите за превоз от корабите, формиране на опашки от изчакващи контейнери в терминалите по линията, избор на заявка от опашката и др. [1].

Обекти на анализ са вида на разпределение на интервалите от време между постъпване на две последователни заявки (контейнери), постъпващи във всеки контейнерен терминал и

вида на разпределението на времената за обслужване на заявките (контейнерите), което включва времето за натоварване на контейнерите на всеки кораб по линията, превоз и разтоварване от съответния кораб в рамките на периода на експлоатация на корабите, обслужващи линията.

Първият етап от анализа на технологичния процес на превоза на контейнеризирани генерални товари по фидерната линия в Черноморския регион се състои в изследването на входящия поток контейнерни единици (брой TEU), постъпващи в пристанищните контейнерни терминали по линията. Изследвани са входящите потоци контейнери, постъпващи в терминалите на пристанища по фидерна линия на водещ линеен оператор в региона. Контейнерите постъпват в пристанищните транспортни възли, където изчакват определено време преди да бъдат натоварени на съответния кораб, превозени до пристанището на местоназначение и разтоварени. Броят на постъпващите контейнери по дни е различен. Постъпващите контейнери са дискретна случайна величина, която приема само цели, неотрицателни стойности, като максималния брой не може да надвишава капацитета за съхранение на контейнери на приемащия терминал. Корабите посещават пристанищата по график и с приближаване на момента на пристигане на съответния кораб, интензитетът на постъпване на контейнерите в терминалите се увеличава. Статистическото изследване на процеса на постъпване на контейнерите в системата за масово обслужване дава възможност да се допусне експоненциално разпределение на интервалите между постъпването на контейнерите с параметър λ_j , където $j = 1, 2, 3, \dots, m$ е броят на пристанищата, включени в ротацията по фидерната линия. В системата постъпват няколко потока с различни параметри. Наслагването на два независими поасонов потока също дава поасонов поток с параметър, равен на сумата от параметрите на съставлящите го потоци [3]. Вероятността за постъпване на n -броя контейнери за интервал от време t се определя чрез:

$$(1) P_n(t) = \frac{(\sum_{j=1}^m \lambda_j)^n}{n!} e^{-(\sum_{j=1}^m \lambda_j)t}$$

Следващ етап от анализа е изследването на времената за обслужване на заявките. Общото време за обслужване в рамките на един завършен производствен цикъл е продължителността на един кръгов рейс. Анализирани са продължителността на кръговите рейсове, извършвани от фидерните кораби в рамките на периода на експлоатация на корабите. След извършване на статистически анализ на данните е установено експоненциално разпределение на времената за обслужване в системата. Броят на корабите, обслужващи дадена линия за определен експлоатационен период е предварително определен и транспортирането между пристанищата се извършва по график. Времето за изчакване на контейнерите за обслужване е неограничено. При достигане на максималната товароместимост на кораба при натоварване в съответното пристанище, при съответните ограничения в газенето на кораба, ненатоварените контейнери не напускат системата, а изчакват следващо посещение на кораб, за да бъдат превозени. Контейнерите се натоварват, превозват и разтоварват по реда на тяхното пристигане, т.е. при равни други условия целта е да се минимизира времето за престой на контейнерите в терминалите по фидерната линия.

Описаната структура на технологичния процес на превоза на контейнеризирани генерални товари по фидерна линия в Черноморски регион позволява процесът да бъде формализиран като многоканална отворена система за масово обслужване с изчакване, с Поасонов поток на постъпващите заявки и експоненциално разпределение на времето за обслужване: M/M/k/FCSF.

Интензивността на входящия поток за цялата система е равна на λ , а интензивността на потока на обслужване на заявките - μ за всяко обслужващо устройство. В резултат на използването на паралелни обслужващи устройства интензивността на обслужване на заявките в системата се увеличава до $n\mu$, ако $n \leq K$, и до $K\mu$, ако $n > K$, където K - брой

фидерни кораби с превозен капацитет изразен в брой TEU. Следователно λ и μ се определят по следния начин:

$$(2) \quad \lambda = \sum_{j=1}^m \lambda_j,$$

където λ_j е интензитетът на потоците на постъпване на контейнерите във всеки един от терминалите по линията, $j = 1, 2, \dots, m$.

$$(3) \quad \mu_s = K\mu$$

Основните функционални характеристики на системата за масово обслужване при превоза на контейнеризирани генерални товари по фидерната линия се определят по следния начин [10]:

- вероятност всички кораби да са свободни:

$$(4) \quad P_0 = \left\{ \sum_{n=0}^{K-1} \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^K}{K!} \left(\frac{1}{1-\frac{\rho}{K}} \right) \right\}^{-1}, \quad \frac{\rho}{K} < 1$$

- вероятност в системата да има n -броя контейнери:

$$(5) \quad P_n = \frac{\rho^n}{n! K^{n-K}} P_0, \quad n > K$$

- среден брой контейнери, изчакващи натоварване:

$$(6) \quad L_q = \frac{\rho^{K+1}}{(K-1)!(K-\rho)^2} P_0,$$

- среден брой контейнери в системата:

$$(7) \quad L_s = L_q + \rho,$$

- средно време за престой на контейнерните преди натоварване

$$(8) \quad W_q = \frac{L_q}{\lambda}$$

За всяка отворена система за масово обслужване средното време за престой на заявките в системата се изразява чрез формулата на Литъл [2]:

$$(9) \quad W_s = \frac{L_s}{\lambda}$$

Броят на контейнерите, намиращи се в системата за масово обслужване включва тези, които се обслужват и тези, които се намират в опашките. [10]

Общите разходи за обслужване на заявките за оперативния период се определят чрез:

$$(10) \quad TC_{op} = T_{op} \left[\left(\sum_{j=1}^m C_j \lambda_j \right) \frac{T_v}{K} + \frac{VC_{op} \cdot K}{T_v} \right] + K \cdot FC_{op} \cdot T_{op},$$

където TC_{op} – общи разходи за превоз за оперативния период; T_{op} – продължителност на оперативния период, VC_{op} – променливи разходи за кръгов рейс; FC_{op} – дневни постоянни разходи; C_j – общи разходи за престой и обработката на контейнерите във всяко пристанище по линията; λ_j – интензитет на постъпване на контейнерите във всеки терминал.

Функцията за определяне на общите разходи за превоз включва разходите за престой и обработка на контейнерите в терминалите по линията, които зависят от интензитета на постъпване на контейнерите за периода на експлоатация на корабите; общите променливи разходи на корабите през оперативния период и постоянните разходи за всички кораби в експлоатация по линията за периода.

Основна цел на оптимизацията на превоза на генерални товари по фидерни линии е постигане на по-висока ефективност на превозите чрез снижаване на общите разходи по превозния процес от гледна точка на линейния оператор (корабопритежател). Стратегическите решения по отношение на транспортната система често се състоят в определяне на капацитета на системата и елиминиране на забавянията с цел увеличаване производителността на системата. [4]

Моделите, изследващи производителността на дадена транспортна система измерват транспортните й характеристиките – обем превозени товари, скорост, плътност на

товаропотоците, време за транспортиране, забавянния, които директно се използват за оценка на ефективността на транспортната система и нейните компоненти [9]

Оптималният размер на кораба и оптималния състав на флота се определя от минималното значение на разходите за оператора на единица товар по конкретно направление и характеристики на товарите. [5] Допускаме, че системата е рационална от гледна точка на разпределението на обслужващите устройства, т.е. каналите нямат престои, когато има чакащи необслужени заявки. [6]

Въз основа на теоретичното описание на системата за масово обслужване е разработен алгоритъм на имитационен модел за оптимизация на основни параметри на системата на базата на имитационното моделиране. Имитационното моделиране на процеси улеснява управлението на времето за обслужване чрез моделиране на непроизводствените дейности и остойносттаването на техния ефект върху общото време на престоя на заявките в системата [7]. Корабите могат да не пристигнат по разписание или да се получи струпване на кораби в едно пристанище, което затруднява работата на бреговото претоварно оборудване [8]. Логиката на алгоритъма е представена както следва:

Блок 1. Въвеждане на начални параметри: $T_{екс}$ - време на експеримента; K – количество канали; λ – интензивност на потока заявки за системата; μ – интензивност на обслужване на заявките.

Блок 2. Генериране на случайни величини (време за постъпване на заявките T_{ni} и време за обслужване на заявките $T_{обсл}$) в зададените интервали, подчиняващи се на закона за разпределение.

Блок 3. Определяне времето за постъпване на заявка i спрямо началото на експеримента $T_{екс}$.

Блок 4. Проверка дали времето за постъпване на заявката $i - T_{ni}$ попада в интервала $T_{екс}$. В случай на превишаване на интервала $T_{екс}$, преминаваме към блок 14.

Блок 5. Определяне номера на свободния или първия освобождаващ се канал j за обслужване на постъпващата i заявка.

Блок 6. Проверка дали времето за обслужване с канал j на заявка $i - T_{обсл,ij}$ попада в интервала на времето на експеримента $T_{екс}$. В случай на превишаване на интервала се преминава към блок 14.

Блок 7. Сравняване на времето на завършване на обслужването на заявка $(i-1) - T_{к,обсл i-1}$. Ако $T_{к,обсл i-1} < T_{ni}$, преминава се към блок 9.

Блок 8. Изчисляване на времето на чакане за заявка i в опашката $T_{очи}$ и времето за

престой на канал $j - T_{npj}$: $T_{оч,} = 0$; $T_{npj} = ni - T_{к,обсл i-1j}$

Блок 9. Изчисляване на времето за обслужване на заявка i в опашката $T_{очи}$ и времето за престой на канал $j - T_{npj}$: $T_{очи} = T_{к,обсл i-1j} - T_{ni}$; $T_{npj} = 0$

Блок 10. Изчисляване на времето за завършване на обслужването на заявка i чрез канал $j - T_{к,обсл ij}$: $T_{к, обсл,ij} = T_{к, обсл, i-1j} + T_{к, обсл,ij} + T_{npj}$

Блок 11. Изчисляване на сумарното време за чакане към момента на постъпване на заявка $(n+1)$.

Блок 12. Определяне количеството заявки в опашката към момента на постъпване на заявка i

Блок 13. Преход към блок 2 в цикличния участък на програмата.

Блок 14. Предаване на управлението от блок 4 и 6. Корижиране на времето за престой на всеки канал след завършването на експеримента: $T_{к, пр, j} + (T_{екс} - T_{к,обсл, nj})$.

Блок 15. Изчисляване на средните значения на $T_{оч,}$, T_{npj} , $T_{обсл}$.

Блок 16. Извеждане на средните значения на $T_{оч}$, $T_{пр}$, $T_{обсл}$.

Блок 17. Извеждане на данните по канали

Блок 18 Изчисляване на общите разходи за превоз за времето на експеримента съгласно (10).

Предложеният алгоритъм на модела е приложим при изследване на параметрите на превозния процес по фидерни линии при зададени интензитет на товаропотока от контейнери, интензитет на обслужване и брой кораби, обслужващи линията. Моделът дава възможност за оперативно управление на превозния процес от момента на постъпване на заявките за натоварване, превоз по море и разтоварване на контейнерите. Възможните решения при оперативното управление са свързани с промяна броя на корабите по линията, което е възможно решение, тъй като операторите имат възможност да въвеждат или извеждат от линията наети контейнеровози или контейнерни слотове, в случай, че интензитета на обслужване е по-висок или по-нисък от интензитета на постъпване на контейнерите за превоз. Друго възможно оперативно решение е пропускане на посещение на пристанище по линията за дадена ротация, в случай, че към момента на планираното пристигане на кораб няма достатъчно изчакващи контейнери или е налице натрупване на закъснения спрямо разписанието и е възможно контейнерите да бъдат натоварени на следващ кораб. Чрез модела се извършва текущо проследяване на времето за престой на контейнерите в терминалите, времето за натоварване, превоз и разтоварване на контейнерите и общото време за престой на контейнерите в системата чрез имитиране на различни състояния на системата, при които се извеждат съответните показатели по кораби, по ротации за кръгов рейс, а също така се извежда и себестойността на превоза при различните състояния.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Бочаров, П. П., Печинкин А. В., 1995, Теория массового обслуживания, Москва, 76-87
2. Вентцель, Е. С., Л. А. Овчаров, 1983, Прикладные задачи теории вероятностей, Москва, 349-404
3. Матвеев В.Ф., В.Г. Ушаков, 1984, Системы массового обслуживания, Москва, 29-38
4. Altiok, T., B. Melamed, 2007, Simulation modeling and analysis with Arena, Elsevier, 313-322
5. Barnhart, C., G. Laporte, 2007, Handbooks in operations research and management science, Vol. 14, Transportation, Elsevier BV, 189-285
6. Haghghi A. M., D. P. Mishev, 2008, Queuing models in industry and business, Nova Science Publishers, 171-172
7. Harrington, H. J., 2000, Simulation modeling methods, McGraw-Hill, 29-30
8. Hensher, D.A., K. J. Button, 2000, Handbook of transport modeling, Handbooks in transport, Vol. 1, Elsevier Inc, 567-574
9. Kutz, M., 2004, Handbook of transportation engineering, McGraw-Hill, Ch. 3. Art. 4
10. Taha H. A., 2003, Operations Research: an Introduction, Prentice Hall, 629- 650