



ОПТИМИЗАЦИЯ НА ЕНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕТО НА ИНТЕРМОДАЛЕН СКЛАД

Илиян Славов

islavov@vtu.bg

**Висше транспортно училище „Тодор Каблешков“
ул. „Гео Милев“ 158, София 1574
РЕПУБЛИКА БЪЛГАРИЯ**

Ключови думи: енергопотребление на интермодален склад, енергийна ефективност, горивни клетки, водород

Резюме: Интермодалните складове, или терминали, са логистични платформи, специализирани в прехвърлянето на унифицирани товари, предназначени за комбиниран транспорт и са неразделна част от интермодалния транспорт. За да поддържа интермодални транспортни операции, всеки терминал трябва да позволява прехвърлянето и временното съхранение на товарни единици. За целта той трябва да разполага с голям двор и специализирано оборудване.

Енергопотреблението в интермодален терминал може да варира в зависимост от множество фактори като: размер на терминала, тип и брой на използваните машини, интензивност на операцията и специфични условия на работа. Основният източник на електрическа енергия, за повечето терминали, се осигурява от националната електрическа мрежа.

Оптимизацията на енергопотреблението в интермодалните складове е важен аспект за устойчивото развитие и ефективността на транспортната инфраструктура. За целта, необходимата електроенергия може да бъде получена от водородни горивни клетки - устройства, генериращи електричество чрез химическа реакция между водород и кислород. В резултат на това се произвеждат електричество, вода и топлина.

Целта на настоящата работа е чрез решаване на симплекс задача, чрез използване на Solver – мощен инструмент за оптимизация, интегриран в Excel, да се постигне оптимизиране на разходите за потребление на електроенергия на товаро-разтоварните машини в малък интермодален терминал, разполагащ с два големи крана, всеки с мощност на електрическия двигател 15 kW и осем мотокара, всеки с мощност на двигателя 80kW.

ВЪВЕДЕНИЕ

Интермодалният транспорт играе ключова роля за намаляване на въглеродните емисии в транспортния сектор. Интермодалните складове, или терминали, са логистични платформи, специализирани в прехвърлянето на унифицирани товари, предназначени за комбиниран транспорт и са неразделна част от интермодалния транспорт. Тези складове позволяват прехвърлянето на стоки между различните видове транспорт, като използват различни технологии, като вертикално или хоризонтално

претоварване. Вертикалното претоварване използва оборудване като портални кранове. Хоризонталните системи са базирани на технологията на железопътните вагони [1]. За да поддържа интермодални транспортни операции, всеки терминал трябва да позволява прехвърлянето и временното съхранение на товарни единици. За целта той трябва да разполага с голям двор и специализирано оборудване.

От регулаторна гледна точка складовите съоръжения са изправени пред множество предизвикателства, поради изискванията в различните регламенти и споразумения за намаляване на емисиите на парникови газове от компаниите, като например Парижкото споразумение за климата и споразумението на ООН за Целите за устойчиво развитие до 2050 г. за значително намаляване на емисиите на парникови газове [2, 3].

Енергопотреблението в интермодален терминал може да варира в зависимост от множество фактори като: размер на терминала, тип и брой на използваните машини, интензивност на операциите и специфични условия на работа. Основният източник на електрическа енергия, за повечето терминали, се осигурява от националната електрическа мрежа [4].

Оптимизацията на енергопотреблението в интермодалните складове е важен аспект за устойчивото развитие и ефективността на транспортната инфраструктура. За целта, необходимата електроенергия може да бъде получена от водородни горивни клетки - устройства, генериращи електричество чрез химическа реакция между водород и кислород. В резултат на това се произвеждат електричество, вода и топлина [5]. Мотокарите и крановете с водородни горивни клетки се предлагат с множество предимства:

1. могат да се зареждат много по-бързо от часовете, необходими за зареждане на тези с батерии;
2. водородните горивни клетки осигуряват постоянна мощност, гарантирайки поддържане на оптимална производителност по време на работа;
3. устройствата с водородни горивни клетки изискват по-малко поддръжка в сравнение с тези, захранвани с батерии;
4. горивните клетки има по-малко движещи се части, в сравнение с двигателите с вътрешно горене. Това води до намалено износване и по-ниски разходи за поддръжка, което се изразява в по-малко прекъсвания и по-надеждна работа [6, 7].

Целта на настоящата работа е чрез решаване на симплекс задача, чрез използване на Solver – мощен оптимизационен инструмент, интегриран в Excel, да се постигне оптимизиране на енергопотреблението на товаро-разтоварните машини в малък интермодален терминал, разполагащ с два големи крана, всеки с мощност на електрическия двигател 15 kW и осем водородни мотокара, всеки с мощност на двигателя 80 kW, като предложеният склад е примерен вариант.

РЕЗУЛТАТИ

За решаване на задачата по оптимизиране на енергопотреблението на товаро-разтоварните единици в примерно предложен интермодален склад приемаме, че сбора на работното време на крановете и мотокарите трябва да е 24 часа. Другите ограничения са:

- Работното време на двата крана трябва да е минимум 3 часа.
- Работното време на осемте мотокара трябва да е минимум 8 часа.
- Работното време на товаро-разтоварните единици трябва да е положително число.

При примерна цена на енергията, консумирана от крановете – 0.40 лв./kWh, а на водородни мотокари – 0.10 лв./kWh извеждаме следната целевата функция:

$$F_{min}=2*P1*C1*t1+8*P2*C2*t2, \text{ където}$$

P1 – мощност на двигателя на един кран,

P2 – мощност на двигателя на един мотокар,

C1 – цена на енергията, консумирана от крановете,

C2 – цена на енергията, консумирана от мотокарите,

t1 – време за работа и на двата крана,

t2 – време за работа и на осемте мотокара.

Целева функция /ЦФ/ $F_{min}=2*P1*C1*t1+8*P2*C2*t2$ Ограничения /Огр/ Огр1 $t1+t2=24$ Огр2 $t1 \geq 3$ Огр3 $t2 \geq 8$ $t1, t2 > 0$	Данни								
	P1=	15	kW	Мощност на двигателя на един кран					
	P2=	80	kW	Мощност на двигателя на един мотокар					
	C1=	0,4	lv/kWh	Цена на енергията консумирана от крановете					
	C2=	0,1	lv/kWh	Цена на енергията консумирана от мотокарите					
t1=? Време за работа и на двата крана									
t2=? Време за работа и на осемте мотокара									
			коэф. леви стр. на ЦФ и Огр.	леви страни-пресметнати	десни страни				
	ЦФ		12	64					
	Огр1		1	1	24	24			
	Огр2		1		16	3			
	Огр3			1	8	8			
	неизвестни t1,t2		16	8					
					Fmin=	704	лв.		

Фигура 1. Конфигуриране на задачата за оптимизиране чрез Solver

Както се вижда от фиг. 1, при така въведените „данни“, изчислената минимална стойност на енергопотребление е 704 лв., ако крановете работят 16 часа, а мотокарите – 8 часа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В резултат на направените изчисления, може да се направи заключението, че изборът на подходящите източници на енергия зависи от конкретните нужди и условия на всеки интермодален терминал. Важно е да се направи баланс между надеждността, устойчивостта и икономическата ефективност на енергийните решения.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Brzeziński M, Pyza D, Archutowska J, Budzik M, Method of Estimating Energy Consumption for Intermodal Terminal Loading System Design. Energies. 17(24), 2024, 6409. <https://doi.org/10.3390/en17246409>.
- [2] Евтимова М, Тодорова Д, Кръстанов К, Бурдин Б, Славова М, Найденов В, Европейски зелен пакт и водородна икономика, Научно списание на ВТУ – статия №2585, том 22, бр.3/3, 2024.
- [3] Ulucak R, Öztürk I, Yücel AG, Koçak E, Chapter 5 - The Process of Sustainability: From Past to Present. In Environmental Kuznets Curve (EKC): A Manual. essay, (2019) Academic Press, an imprint of Elsevier.
- [4] Abahussaien Q, Optimizing Energy Consumption in Warehouse & Logistics Facilities: Measures for Existing and Future Facilities, Global Journal of Researches in Engineering: G Industrial Engineering, 23(2), 2023, 38.
- [5] Славов И, Найденов В, Славова М, Видове горивни клетки, Научно списание на ВТУ – статия №2617, том 22, бр.3/3, 2024.

[6] <https://www.plugpower.com/blog/hydrogen-fuel-cell-forklifts-the-impact-of-fuel-cells-in-material-handling/>

[7] Moore R, Debut of world's first hydrogen fuel-cell RTG crane at LA port, Riviera, 24/5, 2024.

OPTIMIZATION OF THE ENERGY CONSUMPTION OF AN INTERMODAL WAREHOUSE

Iliyan Slavov

islavov@vtu.bg

*Todor Kableshkov University of Transport,
1574 Sofia, 158 Geo Milev Str.,
BULGARIA*

Key words: *energy consumption of intermodal warehouse, energy efficiency, fuel cells, hydrogen*

Abstract: *An intermodal warehouse or terminal is a logistics platform specialized in the transfer of unified cargo intended for combined transport. To support intermodal transport operations, each terminal must allow the transfer and temporary storage of cargo units. For this purpose, it must have a large yard and specialized equipment.*

Energy consumption in an intermodal terminal can vary depending on many factors such as: size of the terminal, type and number of machines used, intensity of operations and specific operating conditions. The main source of electrical energy, for most terminals, is provided by the national power grid.

The optimization of energy consumption in intermodal warehouses is an important aspect for the sustainable development and efficiency of the transport infrastructure. For this purpose, the necessary electricity can be obtained from hydrogen fuel cells - devices generating electricity through a chemical reaction between hydrogen and oxygen. As a result, electricity, water and heat are produced.

The aim of this work is to achieve optimization of the electricity consumption costs of loading and unloading machines in a small intermodal terminal, equipped with two large cranes, each with an electric motor power of 15kW and eight forklifts, each with an engine power of 80kW, by solving a simplex problem using the Solver subprogram of Excel.