

## STUDY OF THE PERFORMANCE OF PALLETIZING EQUIPMENT<sup>13</sup>

### Assoc. Prof. Ivanka Peeva, PhD

Department of Manufacturing engineering

„Angel Kanchev” University of Ruse

Phone: 082 888 712

E-mail: [ipeeva@uni-ruse.bg](mailto:ipeeva@uni-ruse.bg)

### Assist. Prof. Chavdar Kostadinov, PhD

Department of Communication and information systems,

„G. S. Rakovski” National Defence College, Sofia, Bulgaria

Tel.: 02 9226596

E-mail: [ch.kostadinov@rncd.bg](mailto:ch.kostadinov@rncd.bg)

***Abstract:** Automated palletizing of packaged products is used in various production processes, which achieves operational safety, flexibility and higher performance. The article discusses issues related to optimizing the operation of a robotic module for palletizing packaged bulk material in order to increase the productivity of existing equipment. A simulation model has been developed in the environment of GPSS World, allowing the study of the influence of certain factors on the performance of the module and the obtained results are presented.*

***Keywords:** Automation, Robotic Technology Module (RTM), Probability model, Performance of RTM.*

### ВЪВЕДЕНИЕ

Съвременните тенденции в развитието на материалното производство и намаляващият жизнен цикъл на изделията налагат използване на гъвкаво автоматизирано оборудване, позволяващо бързо адаптиране към променящите се производствени и пазарни условия (Mladenov, Y., Dimitrov, D., Karachorova, V., 2016, Todorov, T., Chakar, D. , 2018 ). Използването на основно технологично оборудване с цифрово програмно управление (ЦПУ), промишлени роботи (ПР), съвременни средства за информационно осигуряване на технологичните процеси и автоматично управление създава условия за изграждане на високопроизводителни системи (Koleva, S.,2020, Koleva, S., Enchev, M., Beljov, E.,2018, Todorov, T., Chakar, D. 2019).

Автоматизацията на операции за палетизиране на опаковани изделия намира все по-голямо приложение в дискретните производства. Това се определя от нарастващите изисквания за гъвкавост на техниката, възможност за работа с различни палети и необходимостта от повишаване на производителността. В практиката се използват различни технически средства за палетизиране:

- конвенционални, представляващи автоматични палетизатори, използвани в разтоварващи позиции на автоматични линии за опаковане;
- роботизирани, обособени като самостоятелни гъвкави клетки, позволяващи вграждане в производствени системи.

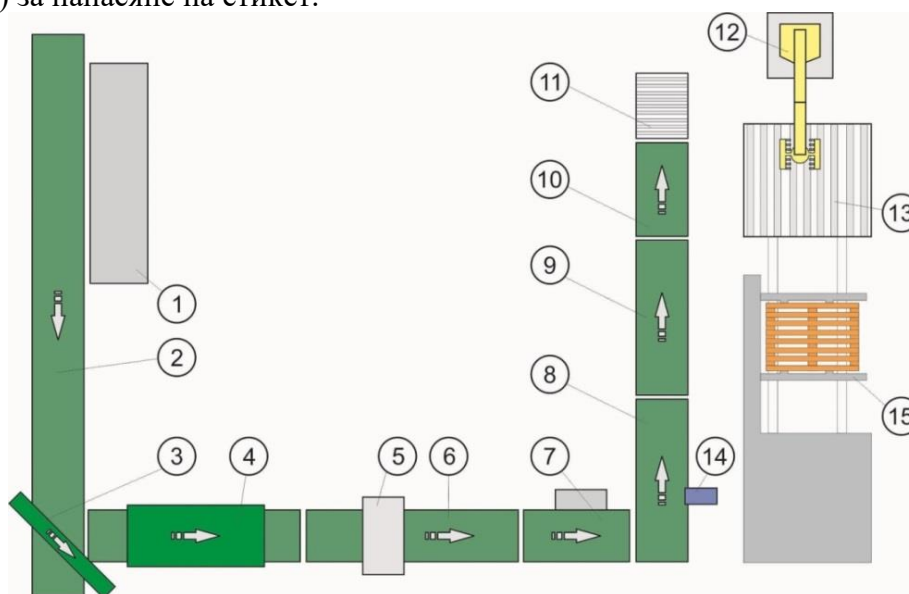
Промишлените роботи осигуряват манипулиране на широка гама опаковани изделия с параметри, съответстващи на техническите характеристики на ПР, както и работа с предпочитани от клиентите палети. Постигането на зададена производителност е свързано с решаването на оптимизационни задачи.

<sup>13</sup> Докладът е представен в секция „Механика и машиностроителни технологии“ на 29 октомври 2021г. с оригинално заглавие на български език: ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПРОИЗВОДИТЕЛНОСТТА НА ПАЛЕТИЗИРАЩО ОБОРУДВАНЕ.

## ИЗЛОЖЕНИЕ

Обект на разглеждане в настоящата работа е автоматизирана производствена система за опаковане и палетизиране на дозиран насипен продукт с единична маса 25 kg в хартиени многопластови торби с размери 530/600/150 mm.

Оборудването включва позиция (1) (фиг.1), където продуктът се дозира в хартиена торба, залепва се отвора и се спуска на транспортна лента (2) (Hristov, D., 2018). След завъртане на 90° от избутващия ограничител-лента (3), торбата се премества към транспортния участък (4), състоящ се от две транспортни ленти, разположени една над друга, така че транспортираната торба, преминавайки между тях, да бъде притискана. Това осигурява подходящо уплътняване на опаковката. Чрез детектор (5) се извършва проверка за метални елементи в опаковката и при наличие се задейства аларма, лентата (6) се спира, а торбата се отстранява от оператор. След проверка на теглото, опаковката се придвижва към принтера (14) за нанасяне на етикет.

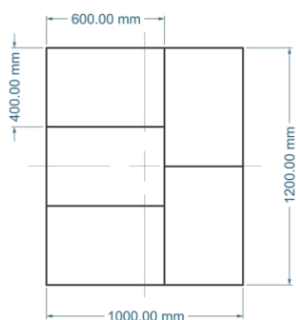


Фиг. 1 Автоматизирана производствена система за опаковане и палетизация

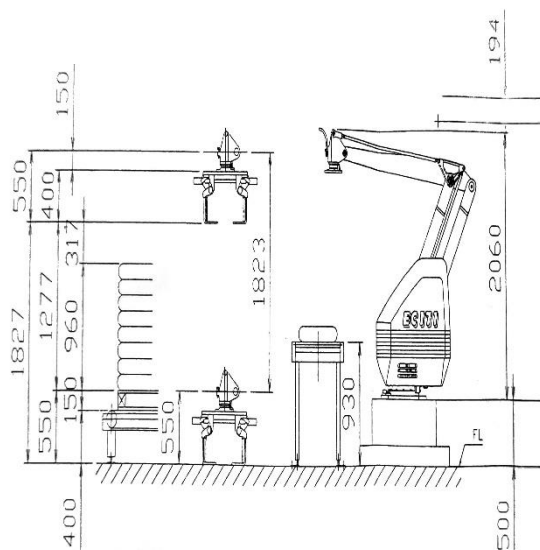
- |                        |                               |                       |
|------------------------|-------------------------------|-----------------------|
| 1. Дозиращо устройство | 6. Транспортна лента          | 12. Робот             |
| 2,4. Транспортни ленти | 7. Транспортна лента с кантар | 13. Конвейер          |
| 3. Избутваща лента     | 8,9,10. Транспортни ленти     | 14. Принтер           |
| 5. Метал-детектор      | 11. Крайна трансп. лента      | 15. Магазин за палети |

Позиции (9), (10) и (11) са транспортни ленти, като в края на всяка има сензор за наличие на опаковки. Ако на участъци (10) и (11) има такива, (10) бива спиран, а в случай че на (11), (10) и (9) има налични торби, то цялата транспортна система спира автоматично. Позиция (12) е палетизиращ робот Fuji Ace EC-171, който поставя всяка торба в определено положение и позиция върху палет (фиг. 2,3), установен на ролков транспортър (13). С цел стабилност в подреждането на готовия палет, съседните редове са с огледално разположение на опаковките. След оформяне на осем реда с по пет торби на ред, палетът се транспортира за опаковане със стреч-фолио от оператор, а неговата позиция автоматично се заема от нов празен палет, постъпващ от магазина (15). Модулът може да работи с различни по размери палети, при разположение на единичните опаковки, определено от техните особености, изискванията за вместимост и стабилност на товарната единица. Анализът на изходните данни за операционните времена на действащото оборудване показва, че производителността на линията се определя от работата на палетизиращия модул.

Предмет на настоящото изследване е производителността на робот (поставящ 40 броя торби на един палет), която зависи от времената за: постъпване на изделие в разтоварваща позиция; затваряне и отваряне на хващача на робота; преместване на един опакован продукт (торба) от транспортната лента до палета в определена позиция и положение.

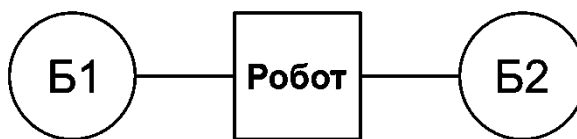


Фиг. 2 Вариант на подреждане на един ред



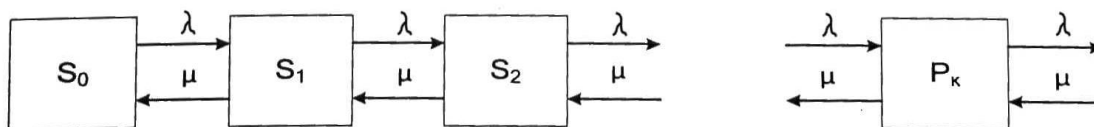
Фиг. 3 Скица на палетиращ модул

За изследване на възможностите за повишаване на производителността е разгледан модел на палетиращ модул, представен като система за масово обслужване (фиг. 4). На входа постъпват заявки (опаковани единици), които се обслужват от ПР. Моделът включва два буфера: входен (Б1) с обем 3 броя изделия и изходен (Б2) с обем 40 броя (съответстващ на запълвания палет), който се явява краен буфер за системата.



Фиг. 4 Графично представяне на модел

За описване работата на палетиращия модул е използван линеен граф на възможните състояния –  $S_i$  (Kostadinov, Ch., Peeva, I. 2017), при интензивности  $\lambda$  и  $\mu$  на потоците от събития, водещи до промяна на състоянията на системата.



Фиг. 5 Линеен граф на състоянията

$$\mu = \frac{1}{t_{\text{захв}} + t_{\text{прем}} + t_{\text{отп}}} ; \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{1}{t_{\text{тр}}} , \quad (2)$$

където :

- $t_{\text{захв}}$  – време за затваряне на хващача;  $t_{\text{отп}}$  – време за отваряне на хващача;
- $t_{\text{прем}}$  – време на преместване на ПР от линията до палета;
- $S_0$  – състояние на системата, при което каналът за обслужване е свободен;
- $S_1$  – каналът е зает (обслужва се една заявка), няма заявки в буфера;
- $S_2$  – каналът е зает, обслужва се една заявка и има една заявка в буфера;
- $P_k$  – каналът е зает, има  $(k-1)$  заявки в буфера;

$\lambda$  – интензивност на постъпване на заявките за обслужване;  $\mu$  – интензивност на обслужване (среден брой обслужени заявки);  $\rho = \lambda / \mu$  – относителна интензивност.

За аналитично определяне на производителността може да се използва зависимостта:

$P = \lambda \cdot (1 - P_0)$ , където  $P_0$  е вероятността за пребиваване на системата в състояние  $S_0$ , получена след решаване на система от уравнения, съответстващи на графа на състоянията.

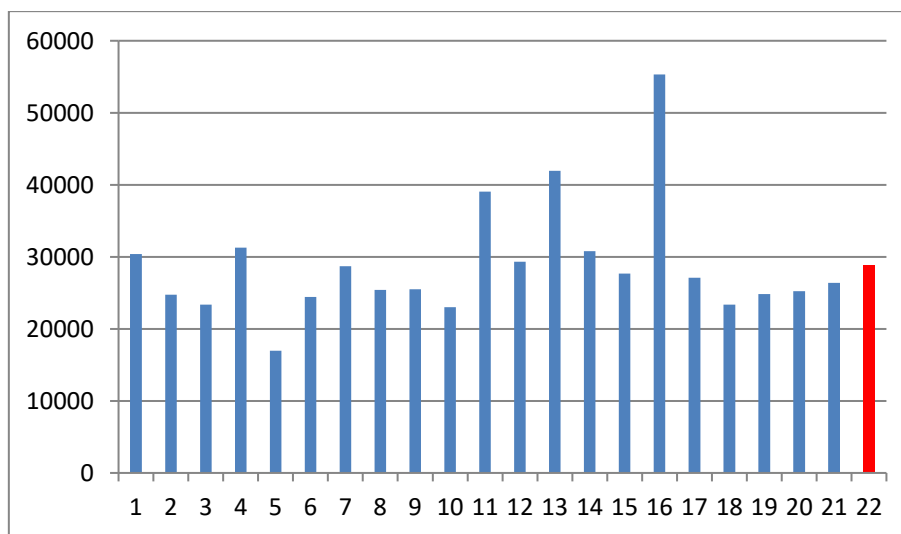
При изследване влиянието на отделни фактори върху работата на една производствена система е подходящо използване на симулационно моделиране. За разглеждания палетизиращ модул е разработен симулационен модел в среда на софтуерния продукт GPSS World, като е прието един цикъл от работата на системата да съответства на запълване на един ред от палета. За проверка на достоверността на модела е направена симулация при зададена производствена програма от 40 броя палети/смяна и действителни времена за нареждане на отделните редове на палета, както следва:

1 ред – 72.5 сек.,      2 ред – 67.5 сек.,      3 ред – 52.5 сек.,      4 ред – 47.5 сек.,  
 5 ред – 47.5 сек.,      6 ред – 52.5 сек.,      7 ред – 67.5 сек.,      8 ред – 72.5 сек.

FACILITY	START TIME		END TIME		BLOCKS	FACILITIES		STORAGES		
	ENTRIES	UTIL.	AVE.	TIME AVAIL.		OWNER	PEND	INTER	RETRY	DELAY
ROBOT	640	0.232	11.000	1	9	0	0	0	0	0
LINE1	40	0.118	89.969	1		0	0	0	0	0
LINE2	40	0.141	107.346	1		0	0	0	0	0
LINE3	40	0.081	61.823	1		0	0	0	0	0
LINE4	40	0.083	62.965	1		0	0	0	0	0
LINE5	40	0.082	61.952	1		0	0	0	0	0
LINE6	40	0.090	68.009	1		0	0	0	0	0
LINE7	40	0.107	81.105	1		0	0	0	0	0
LINE8	40	0.113	85.603	1		0	0	0	0	0

Фиг. 6 Протокол от извършена симулация

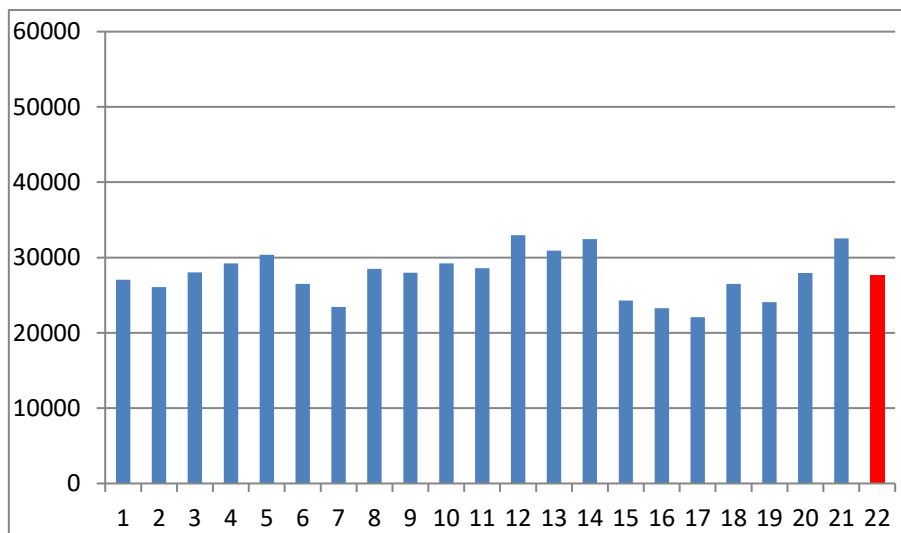
Получено е време за палетизиране на 40 броя палети END TIME 30389.156 сек. (8 часа и 26 мин.), както и средните времена, необходими на работа за нареждане на всеки отделен ред от палета (LINE1; LINE2 и т.н.) (фиг. 6). Направени са 21 последователни симулации, което съответства на седмичната производствена програма при трисменен режим на работа и резултатите са представени графично на фиг. 7. Определеното средно работно време на модула за изпълнение на производствената програма за една смяна е 28 797 сек. (7 часа и 59 мин), с което се потвърждава достоверността на симулационния модел.



Фиг. 7 Резултати от симулационното моделиране на работата на палетизиращия роботизиран модул

За оценка на възможностите за повишаване производителността на палетизиращия модул, с помощта на разработения симулационен модел е направено изследване при зададени времена за движение на робота, съответстващи на завишени скорости на движение по отделните му степени на подвижност.

При увеличение на скоростите на движение с 10% при същата зададена производствена програма, средната сменна продължителност на работа на палетизиращия модул е 28 521 сек. (7 часа и 55 мин). Резултатът е незначително изменение на средното време за изпълнение на седмичната производствена програма и е недостатъчно за практическа реализация. При следващи 21 симулации е заложено завишаване на скоростите на движение с 30%, при еднакви други условия. В резултат е получено средно време за работа на ПР 7 часа и 40 минути / смяна (фиг. 8).



Фиг. 8 Прогнозни резултати за продължителност на работата на модула при увеличение на скоростите на движение на ПР с 30%

Намаляване на общото време за обслужване на 40 броя палети/смяна с 20 минути има практическа стойност и може да се счита като резерв за повишаване на производителността с 5 броя палети/ден. Възможното увеличение на скоростите на движение трябва да се реализира след анализ на допустимите им стойности, с оглед осигуряване на необходимата точност на позициониране при определена товароносимост и съответни ходове по отделните степени на подвижност. За оптимизиране на цикъла на обслужване чрез съвместяване на движения и намаляване дължината на някои ходове е подходящо използване на устройство, преместващо палета по височина, така че нивото на подреждания ред винаги да остава едно и също.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В резултат на извършената работа може да се направят следните изводи:

- Разработен е симулационен модел на палетизиращ модул в среда на GPSS World, съответстващ на реалната система;
- Анализът, базиран на резултатите от симулационното моделиране при различни скорости на движение на звената на палетизиращия робот, потвърждава зависимостта на производителността от интензивността на обслужване и може да бъде допълван с отчитане и на други значими влияещи фактори;
- Симулационният модел е подходящ за анализ и прогнозиране на производителността и натоварването на палетизиращо оборудване при различни условия на работа, определени от изисквания на клиентите за използване на палети с различни размери, начин за подреждане на опаковките и др.

## REFERENCES

Hristov, D. (2018). Research of the productivity of a robotic palletizing system. Diploma work, University of Ruse, 2018(*Христов Д. Изследване производителността на роботизирана система за палетизация. Дипломна работа, РУ „А. Кънчев“, Русе, 2018*).

Kostadinov, Ch., Peeva, I. (2017). Adapted method for RTM with parallel working machines. Proceedings of University of Ruse, 2017, vol. 56, book 2, 99-103, ISSN 2603-4123.

Koleva, S., Enchev, M., Beljov, E. (2018). About the information assurance of technological processes by machining parts. IN: University of Ruse, Proceedings, Mechanical Engineering and Machine-Building Technologies, Ruse, 2018, 45-50, ISSN 2603-4123.

Koleva, S. (2020). Current problems and trends relating to ensuring the accuracy on turning. University of Ruse, Proceedings, Mechanical Engineering and Machine-Building Technologies, Ruse, 2020, 43-48, ISSN 2603-4123.

Mladenov, Y., Dimitrov, D., Karachorova, V. (2016). Strategy of product. International Journal - Institute of Knowledge Management, № 13.1, 215-220, ISSN 1857-92.

Todorov, T., Chakar, D. (2019). Automated mixing and dosing of lubricants whit controlled cavitation. University of Ruse, Proceedings, Mechanical Engineering and Machine-Building Technologies, Ruse, 2019, 39-43, ISSN 2603-4123.

Todorov, T., Chakar, D. (2018). Problems during highly productive complex quality assessment of objects. University of Ruse, Proceedings, Mechanical Engineering and MachineBuilding Technologies, Ruse, 2018, 51-54, ISSN 2603-4123.