

## ON THE CHOICE OF A STRUCTURAL - LAYOUT VARIANT OF A ROBOTIC TECHNOLOGICAL MODULE<sup>5</sup>

---

**Assoc. Prof. Ivanka Peeva, PhD**

Department of Manufacturing engineering

“Angel Kanchev” University of Ruse

Phone: 082-888 712

E-mail: ippewa@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: chkostadinov@abv.bg

**Abstract:** *The correct choice of structural-layout scheme is a key point in the design of robotic technological modules, determining both the technical and economic feasibility of using this type of automation tools. The wide range of variation of basic technical and operational parameters of the technological and auxiliary units, structured in a module, determines the wide variety of technically possible component variants of equipment for realization of a certain technological process. Production modules with different number of parallel operating technological machines, serviced by one robot, are considered. The influence of the number of technological machines and the scenario of their service by one robot on the estimated productivity was studied by probabilistic modeling of the work of different variants. It is possible to achieve the set performance in variants with different number of machines and suitable service scenarios, due to the presence of different losses from waiting for service, which can be used in search of an optimal solution.*

**Keywords:** *RTM, Probabilistic model, Performance of RTM, Line graph of states, Branched graph of states.*

### ВЪВЕДЕНИЕ

Роботизираните технологични модули (РТМ) намират широко приложение в съвременните многономенклатурни производства. Създаването на гъвкави производствени системи, отговарящи на нарастващата конкуренция и изисквания на пазара е възможно чрез прилагане на високотехнологично оборудване и подходящи средства за автоматизиране на технологичните процеси. Структурирането на такива системи на базата на технологични машини с ЦПУ, промишлени роботи (ПР) и други спомагателни единици, функционално обединени от обща система за автоматично управление, се базира на правилно заложен проектни компоновъчни решения, определящи стойности на техническите параметри, осигуряващи зададени критерии за ефективност. Това прави въпроса за избор на структурно-компоновъчна схема на РТМ особено актуален.

### ИЗЛОЖЕНИЕ

Осигуряването на изисквания за повишаване на производителността и намаляване на броя на обслужващия персонал, зает непосредствено в производството, е възможно чрез автоматизиране на основни и спомагателни операции. Използването на високопроизводителни машини, манипулационни устройства, специални средства за контрол и информационно осигуряване на технологичните процеси води до намаляване продължителността на технологичните операции ( Koleva, S., Enchev, M., Beljov, E., 2018).

---

<sup>5</sup> Докладът е представен в секция „Механика и машиностроителни технологии“ на 13 ноември 2020 г. с оригинално заглавие на български език: ОТНОСНО ИЗБОРА НА СТРУКТУРНО-КОМПОНОВЪЧЕН ВАРИАНТ НА РОБОТИЗИРАН МОДУЛ.

Това, заедно с намаляване на допълнителните извънциклови загуби, допринася за повишаване на техническата производителност на системите. Производителността е един от основните критерии за избор на оптимална структурно-компоновъчна схема на РТМ. Видът и броят на използваните машини, както и техническите им характеристики, пряко влияят върху производителността. Това влияние е по-чувствително при РТМ с паралелно действие, при които общата производителност на модула е сума от производителност на отделните машини.

Промяната в условията на работа, например при смяна на обекта на производство, може да доведе до промяна на времената на обработване, което прави възможни ситуации, при които роботът или машините в структурирания за даден технологичен процес модул да имат значителни престои, поради чакане на обслужване. Този проблем се задълбочава с увеличаване броя на машините, обслужвани от един робот в РТМ и има отношение към производителността. Важно значение за оптимизиране на работния цикъл има правилната технологична подготовка, като в серийните производства основно направление е унификацията на технологичните процеси, основаваща се на използването на типови и групови процеси (Zamfirov, I., Dimitrov, D., Koleva, S., 2013).

Многовариантността на технически възможните решения за прилагани технологични процеси, широкият диапазон на технически параметри на основно и спомагателно оборудване води до голямо разнообразие на възможни решения за структуриране на производствена система за конкретни условия на работа. За предварителен анализ и оценка на различни компоновъчни варианти на РТМ може да се използва прогнозната стойност на производителността при зададени условия на работа, получена чрез вероятно моделно моделиране.

Всеки РТМ е предназначен за производство на определена номенклатура и количество изделия. На база разработен технологичен процес се определят времената за обработване на всяка машина от модула. Едни от факторите за избор на ПР са заложените стойности на оптимални натоварвания на основното оборудване, осигуряващи критериите за ефективност на системата. Приемайки вградените в модула единици като елементи с абсолютна надеждност, общата производителност на РТМ с паралелно действие зависи от относителните интензивности  $\rho_i$ , представляващи отношение на времената за обслужване и обработване за всяка ( $i$ -та) машина и определящи натоварването на машините.

За изследване влиянието на последователността (сценария) на обслужване върху прогнозната производителност на РТМ, използвана като критерий за избор на оптимална структурно-компоновъчна схема на този вид производствени системи, е използван вероятностен модел на система за масово обслужване (СМО), решаван чрез декомпозиционен метод при разклонен граф на възможните състояния на системата. За определяне на вероятностите на състоянията, натоварването на оборудването и производителността са използвани зависимости (Kostadinov, Ch., 2017), представени в табл. 1 и табл. 2 и получени при използване на разклонен граф и последователно разделяне на системата на елементи от по две машини.

В техническата литература са описани и изследвани различни модули с една и две машини и един обслужващ робот. Интерес представляват системите с повече машини, поради големия брой възможни състояния и сценарии на обслужване. Разгледани са РТМ с  $m$  на брой технологични машини ( $3 < m < 8$ ) с различни времена за обработване  $t_{обр}$  в диапазона  $200 - 900$  s (първа – 200 s, втора – 300 и т.н.), като тези времена са еднакви за всяка съответна машина при всички разгледани варианти на модули.

За намаляване на вариантите за моделиране работата на всеки модул е прието, че времето на ПР за обслужване  $t_{обс}$  на всяка от машините в модула е еднакво. Такива стойности на  $t_{обс}$  може да се получат реално при съответни компоновъчни схеми на РТМ и определени скорости на движение на ПР по отделните степени на подвижност. Времето за обслужване за всеки модел е определено от зададено оптимално  $\rho$  за всяка първа в компоновъчната схема машина. При така зададените времена  $t_{обр}$  и  $t_{обс}$  и различни варианти на поредност на обслужване от един робот на машините в модулите, е извършено

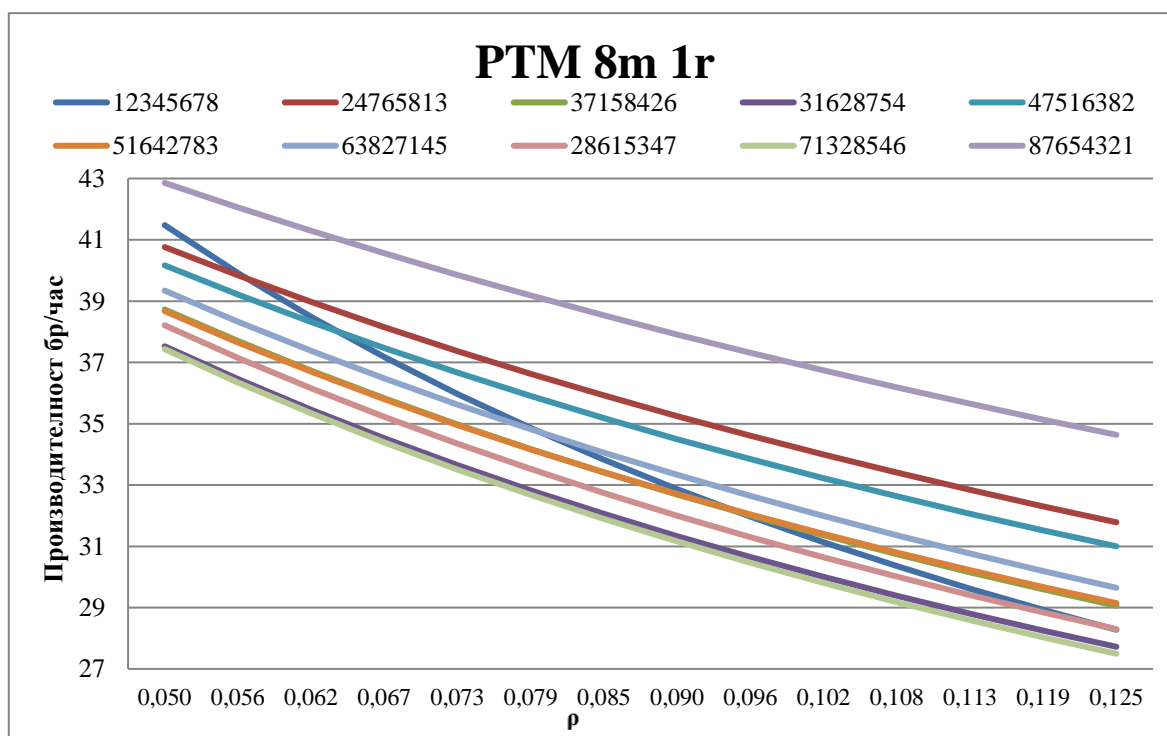
аналитично моделиране работата на РТМ и са получени стойности за прогнозната производителност при всеки вариант от разглежданите модули.

Таблица 1. Зависимости за определяне на вероятностите на състоянията на РТМ

| $P_0$   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| $\frac{1}{1 + \frac{\lambda_1(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_2)}{\lambda_1\mu_1 + \lambda_2\mu_2 + \mu_1\mu_2} + \frac{\lambda_2(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1)}{\lambda_1\mu_1 + \lambda_2\mu_2 + \mu_1\mu_2} + \frac{\lambda_1\lambda_2(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_2)}{\mu_1(\lambda_1\mu_1 + \lambda_2\mu_2 + \mu_1\mu_2)} + \frac{\lambda_1\lambda_2(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1)}{\mu_2(\lambda_1\mu_1 + \lambda_2\mu_2 + \mu_1\mu_2)}}$ |   |   |   |
| $P_1$   | $P_2$   | $P_3$   | $P_4$   |
| $\frac{\lambda_1(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_2)}{\lambda_1\mu_1 + \lambda_2\mu_2 + \mu_1\mu_2} P_0$   | $\frac{\lambda_2(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1)}{\lambda_1\mu_1 + \lambda_2\mu_2 + \mu_1\mu_2} P_0$ | $\frac{\lambda_1\lambda_2(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_2)}{\mu_1(\lambda_1\mu_1 + \lambda_2\mu_2 + \mu_1\mu_2)} P_0$ | $\frac{\lambda_1\lambda_2(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1)}{\mu_2(\lambda_1\mu_1 + \lambda_2\mu_2 + \mu_1\mu_2)} P_0$ |

Теоретично броят на възможните сценарии на обслужване за всеки роботизиран модул с паралелно действие е в пряка зависимост от броя  $m$  на машините в него, като например, при  $m = 4$  вариантите са 24, а при  $m = 8$  над 40000. За целите на изследването са използвани определен брой произволно избрани сценария за всеки вариант на модул.

Резултатите от направените изчисления за РТМ с 8 машини са представени графично на фиг. 1, като всеки сценарии е представен като поредност на обслужени машини, с конкретен номер в модула. За еднаквост на условията на работа, залегнали при моделиране на РТМ с  $m$  на брой машини, е използван общият диапазон за изменение на относителната интензивност  $\rho$  при модули с  $3 < m < 8$ , а именно  $\rho = 0,05 \div 0,125$  (Kostadinov, Ch., Peeva, I., 2017).



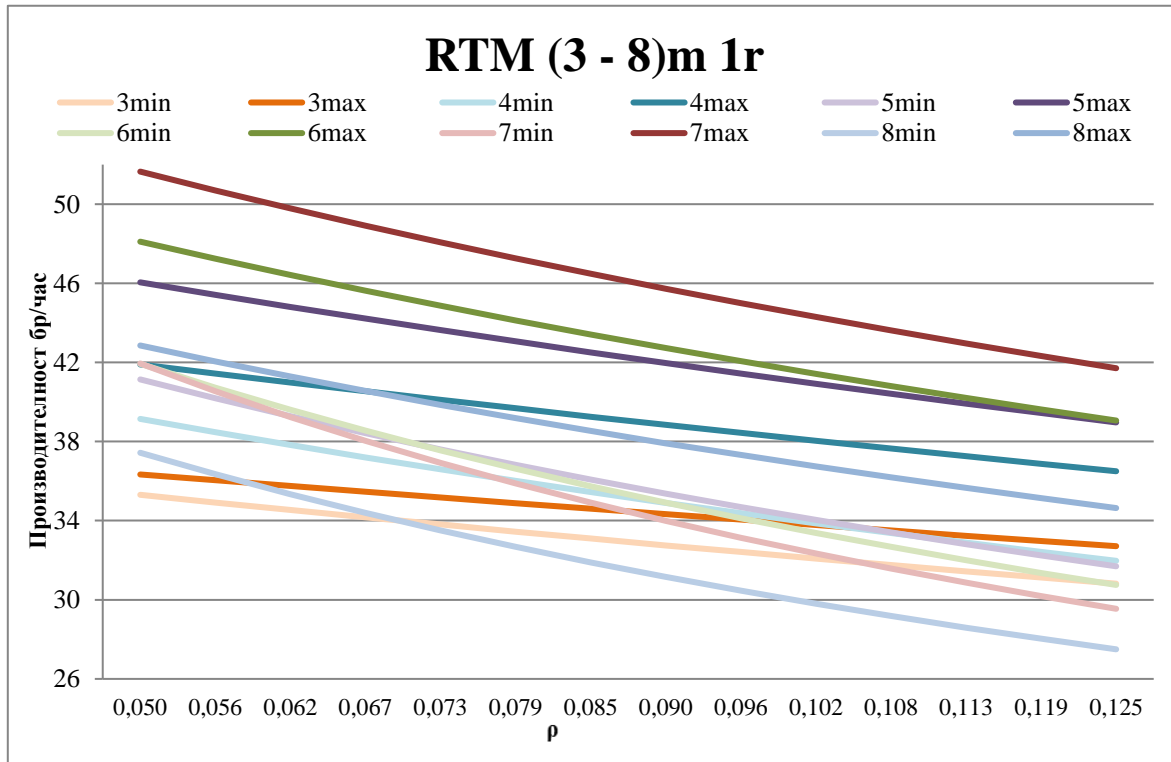
Фиг. 1 Изменение на производителността на РТМ, състоящ се от 8 машини и ПР при различна последователност на обслужване

Таблица 2. Зависимости за определяне на натоварването на оборудването  $H_{Mi}$ ,  $H_p$  и производителността  $P_{РТМ}$  на РТМ

|          |          |       |           |
|----------|----------|-------|-----------|
| $H_{M1}$ | $H_{M2}$ | $H_p$ | $P_{РТМ}$ |
|----------|----------|-------|-----------|

|             |             |           |                                       |
|-------------|-------------|-----------|---------------------------------------|
| $P_0 + P_2$ | $P_0 + P_1$ | $1 - P_0$ | $\lambda_1 H_{M1} + \lambda_2 H_{M2}$ |
|-------------|-------------|-----------|---------------------------------------|

На фиг. 2 са представени графики за изменение на граничните стойности (min, max) на производителността на РТМ с различен брой машини, получени при някои от разгледаните сценарии на обслужване.

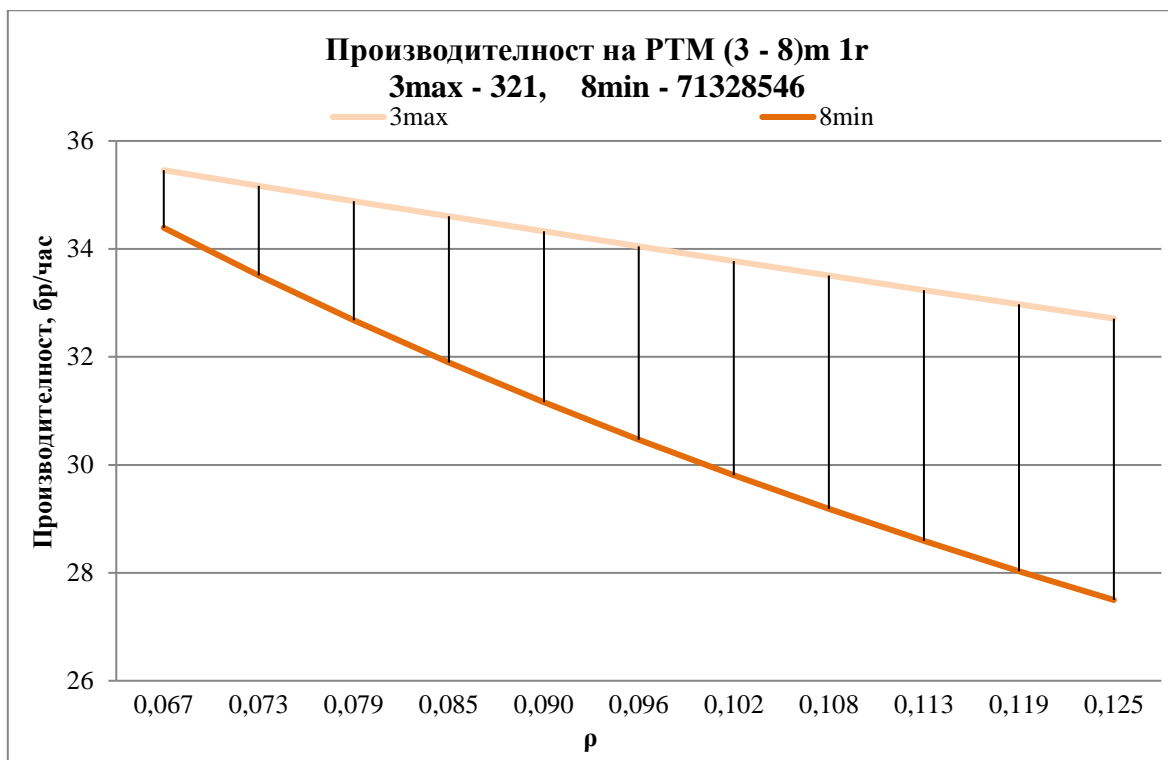


Фиг. 2 Изменение производителността на РТМ с 3÷8 машини в зависимост от  $\rho$

При така приетите времена за работа на основното и спомагателно оборудване и аналитично моделиране работата на отделните системи, при разгледаните сценарии на обслужване се установява, че може да се получи по-висока прогнозна производителност с по-малко на брой машини в модула. Това е в резултат на различните по големина допълнителните загуби от чакане на обслужване, зависещи от броя на машините и поредността на тяхното обслужване.

На фиг. 3 може да се сравнят графиките за изменение на производителността на два варианта на РТМ с 3 и 8 машини, реализиращи определен технологичен процес, при еднакви условия на работа и определени сценарии. В разглеждания диапазон за изменение на  $\rho$  минималните стойности на производителността на РТМ с 8 машини, получени при разгледан сценарий са по-малки от тези, при модул с 3 машини и се колебаят в по-широки граници.

В областта между двете графики може да се посочат и други такива, характерни за различни случаи на обслужване и при различни варианти на модули. Наличието на определен набор от данни за различни варианти на моделиране на РТМ при зададени условия на работа и производителност, позволява целенасочен избор на подходящ брой машини и структурно-компоновъчна схема на РТМ, осигуряваща зададените критерии за ефективност.



Фиг. 3 Сравнителна графика за производителност при РТМ с различен брой машини

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В резултат на извършения анализ може да се направят следните изводи:

1. Декомпозиционният метод за решаване на вероятностни модели с разклонен граф е подходящ метод за получаване на прогнозни стойности за производителността на реална система, поради отчитане на допълнителните загуби от чакане на обслужване за всяка машина при конкретни производствени условия;

2. Броят на машините в РТМ с паралелно действие и последователността на тяхното обслужване от промишлен робот оказват съществено значение на общата производителност на модула, като са възможни случаи за получаване на по-висока производителност с по-малко на брой машини при определени сценарии на обслужване;

3. Моделирането на работата на РТМ с различен брой машини, реализиращи определен технологичен процес, при възможни сценарии на обслужване на машините за всеки вариант на модул, позволява избор на оптимална структурно-компоновъчна схема на РТМ, осигуряваща зададена производителност;

4. За подпомагане на инженерните дейности при анализ и избор на подходяща структурно-компоновъчна схема на РТМ е подходящо използване на симулационно моделиране работата на такива системи в условията на реално производство.

## REFERENCES

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

Kostadinov, Ch. (2017). Probabilistic modeling, analysis and performance forecasting of production systems with parallel structure. PhD thesis, RU „A. Kanchev“, Ruse, 2017. (*Оригинално заглавие: Костадинов, Ч., 2017. Вероятностно моделиране, анализ и прогнозиране на производителността на производствени системи с паралелна структура. Дисертация, РУ „А. Кънчев“, Русе, 2017*)

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, pp. 45-50, ISSN 2603-4123.

Zamfirov, I., Dimitrov, D., Koleva, S. (2013). Group and type technological processes. Ruse: Publishing Center of RU „A. Kanchev“, ISBN 978-954-712-580-3. (**Оригинално заглавие:** *Замфиров, И., Димитров, Д., Колева, С., 2013. Групови и типови технологични процеси. Русе: Издателски център на РУ „А. Кънчев“, ISBN 978-954-712-580-3*)

Докладът отразява резултати от работата по проект № 2020-ФМТ-1, финансиран от фонд „Научни изследвания“ на Русенския университет.