

DOI: 10.31319/2519-8106.2(47)2022.268387

UDC 656.135.8

B. Sereda, Doctor of Technical Sciences, prof., Head of the Department, seredabp@ukr.net

D. Mukovska, graduate student

D. Sereda, Candidat of Technical Sciences, assistant professor

Dniprovsky State Technical University, Kamianske

SIMULATION OF THE MANUFACTURING PROCESS OF TRANSPORTATION ON THE TECHNOLOGICAL ROUTES OF THE CAREER OF A METALLURGICAL ENTERPRISE

The method of simulation modeling is currently one of the most powerful and effective methods of researching processes and production systems. The simulation model should reflect a large number of parameters, logic and patterns of behavior of the simulated object. Simulation modeling allows you to reproduce the process of functioning of the system in time while preserving elementary phenomena, their logical structure and sequence of flow in time. This makes it possible to obtain information about the state of the process in the future at certain points in time based on the source data.

The distribution of dump truck operating time and speed of movement with and without cargo, idle time for technical reasons and waiting time in the queue were obtained based on a formal analysis of experimental data. These dependencies obey the exponential law. The simulation model for managing the maintenance of technological routes has been improved, which, unlike the existing ones, takes into account the parameters of the transport service cycles (the intensity of the filling of bunkers, the average time of loading cars, the intensity of the occurrence of abnormal time, the coefficient of downtime and repair), which made it possible to minimize the time of the transport service cycles, and to reduce idle time in the queue by 27 % for an average value of 23.4 min. for this parameter. With the help of the proposed simulation model, it is possible not only to evaluate options for countering deviations and failures that occurred during production by redistributing resources, changing the order of starting and releasing work items, but also to predict tense and emergency situations.

Keywords: simulation model, technological routes, dump truck, quarry, production process, crushing and sorting complex, management model.

На сьогоднішній день саме метод імітаційного моделювання є одним із найпотужніших та найефективніших методів дослідження процесів та виробничих систем. Імітаційне моделювання дозволяє відтворювати процес функціонування системи у часі із збереженням елементарних явищ, їхньої логічної структури та послідовності протікання у часі. Це дозволяє за вихідними даними отримати інформацію про стані процесу у майбутньому у певні моменти часу. В даний час імітаційний метод є найбільш ефективним, а найчастіше, і єдиним методом дослідження складних систем на етапі їх проектування. Імітаційна модель є динамічною моделлю, в якій всі процеси розглядаються в незмінному масштабі часу.

Отримано розподіл часу роботи самоскида та швидкість руху з вантажем та без вантажу, простою з технічних причин і часу очікування в черзі на основі формального аналізу експериментальних даних. Ці залежності підпорядковуються експоненційному закону.

Удосконалено імітаційну модель управління обслуговуванням технологічних маршрутів, яка на відміну від існуючих, враховує параметри циклів транспортного обслуговування (інтенсивність заповнення бункерів, середній час навантаження автомобілів, інтенсивність виникнення ненормованого часу, коефіцієнт простою та ремонту), що дало можливість мінімізувати час циклів транспортного обслуговування, а саме скоротити час простою в черзі на 27 % за середнього значення 23,4 хв. для цього параметра. За допомогою запропонованої імітаційної моделі можна не тільки оцінювати варіанти паркування відхилень і збоїв, що виникли в ході виробництва шляхом перерозподілу ресурсів, зміни порядку запуску-випуску предметів праці, а й прогнозувати напружені та аварійні ситуації.

Ключові слова: імітаційна модель, технологічні маршрути, самоскид, кар'єр, виробничий процес, дробильно-сортувальний комплекс, модель управління.

Problem's Formulation

The complexity and diversity of the processes of functioning of production systems do not always allow to obtain separate mathematical models of a traditional form for them (analytical models: the target function and constraints are presented in an analytical form). Mathematical modeling problems that arise here can in many cases be successfully solved by using the simulation modeling (SM) technique. [1]

In the IM process, the computer reproduces the phenomena described by the mathematical model, preserving their logical structure and sequence of alternation in time. The level of detail of the simulation model can be different (depending on the goals), which is aimed at obtaining the required characteristics. These characteristics are printed and used as direct or indirect design results. [2]

The use of simulation modeling in management decision support systems will reveal disproportions in the production process, the presence of "bottlenecks", the occurrence of queues and shortages of means of production in any areas of production, just means of production. With the help of the proposed simulation model, it is possible not only to evaluate options for countering deviations and failures that occurred during production by redistributing resources, changing the order of start-up of means of production, but also to predict stressful and emergency situations. In the simulation model, the analysis of the events taking place is carried out. [3]

Analysis of recent research and publications

To date, the method of simulation modeling is one of the most powerful and effective methods of researching processes and production systems. The simulation model should reflect a large number of parameters, logic and patterns of behavior of the simulated object. In many cases, more detailed information about the behavior of the object or system is required. And here they use simulation modeling, which describes the functioning of the system as a sequence of operations on a computer. [4]

The behavior of the system is represented as an algorithm based on which a computer program is developed. The essence of simulation modeling is that the process is simulated using arithmetic and logical operations in a sequence corresponding to the simulated process. [5]

Simulation modeling allows you to reproduce the process of functioning of the system in time while preserving elementary phenomena, their logical structure and sequence of flow in time. This makes it possible to obtain information about the state of the process in the future at certain points in time based on the source data. Currently, the simulation method is the most effective, and most often, the only method of researching complex systems at the stage of their design. The simulation model is a dynamic model in which all processes are considered on a constant time scale. [6]

Presenting main material

Formulation of research purpose — taking into account the peculiarities of the functioning of the transport and production system, it is necessary to build a simulation model of the operation of dump trucks on the technological routes of a metallurgical enterprise.

Modeling of statistical distributions of random variables

The following processes should be reflected in the simulation model of the telecommunications system (TCS):

- receipt of applications;
- selection of service device;
- service;
- dismissal.
- IM includes tools that allow you to simulate:
 - incoming flow of applications;
 - management / distribution of applications;
 - service;
 - the initial flow of applications;
 - statistical processing of input and output parameters.

Simulation of the incoming flow of applications

The flow of requests is a sequence of requests (calls) that enter the service system at certain points in time: $t_1, t_2, t_3, \dots, t_1, \dots, t_c, \dots$, where t_1 it is a measured parameter that can take defined or

arbitrary values. Deterministic flow — a flow of applications at fixed moments of time. Stochastic (random) flow — a flow of applications at random times chasy.

To determine the flow of applications, it is necessary to describe the time interval between neighboring applications:

$$\Delta t_k = t_k - t_{k-1}.$$

To simulate a random flow of applications, it is necessary to set the distribution function $F(\Delta t)$ of the time interval between adjacent applications.

For the simplest call flow, the distribution of the number of calls received during time t is determined by the Poisson formula:

$$P_i(t) = \frac{(\lambda t)^i}{i!} e^{-\lambda t},$$

$P_i(t)$ — probability of receiving exactly i calls of the simplest flow during a period of time t .

The simplest flow is also called a stationary Poisson flow.

Basic parameters of the simplest flow:

- distribution of the number of applications and for the time interval t
- distribution of the time interval between adjacent requests in the stream
- mathematical expectation and variance of the number of stream requests and the time between adjacent requests in the stream.

Parameters of the simplest flow:

- distribution of the number of applications i per time interval $t = 1$:

$$p_i(t = 1) = \frac{(\lambda)^i}{i!} e^{-\lambda}.$$

- distribution function of the time interval Δt between adjacent applications in the simplest flow:

$$P(\Delta t) = P(\phi < \Delta t) = 1 - \lambda e^{-\lambda \Delta t}.$$

Basically, this is the probability that one or more calls will arrive during the interval Δt .

- density of the probability distribution Δt :

$$p(\Delta t) = \lambda e^{-\lambda \Delta t}.$$

Thus, the distribution of time intervals between calls of the simplest flow is subject to an exponential (negative exponential) law. The function $p(\Delta t)$ depends on the flow parameter λ .

Mathematical expectation, variance and root mean square deviation of the number and applications in the simplest flow:

$$M(i) = \int_0^{\infty} i P_i(t) dt = \lambda t;$$

$$M(i) = \int_0^{\infty} i P_i(t) dt = \lambda t;$$

$$D(i) = \lambda t.$$

At $t = 1$:

$$y(\Delta t) = \sqrt{\lambda t};$$

$$M(i) = D(i) = \lambda.$$

This equality is characteristic both for the simplest flow and for any stationary and ordinary flow.

The average duration of the time interval Δt between adjacent calls is calculated as a mathematical expectation in the form:

$$M(\Delta t) = \int_0^{\infty} t P(\Delta t) dt \mid t = \int_0^{\infty} t \lambda e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}.$$

Dispersion Δt :

$$D(\Delta t) = \int_0^{\infty} t^2 P(\Delta t) dt - M^2(\Delta t) = \int_0^{\infty} t^2 \lambda e^{-\lambda t} dt - \frac{1}{\lambda^2} = \frac{1}{\lambda^2}.$$

Mean square deviation of the interval Δt :

$$y(\Delta t) = \sqrt{\frac{1}{\lambda^2}} = \frac{1}{\lambda}.$$

The equality of the mathematical expectation and the root mean square deviation of the time interval between adjacent applications in the stream is also a sign of the exponential distribution of a random variable

When analyzing an event in the simulation model, the time of occurrence of the event is predicted, which is initiated by the data obtained in the Tecnomatix Plant Simulation program. Tecnomatix Plant Simulation is a comprehensive solution package for digital manufacturing that combines all areas of manufacturing and product development, from manufacturing process flow and design, process simulation and verification to production based on the principles of Product Lifecycle Management (PLM) of the manufacturing platform [7,8].

The following set of parameters must be taken into account for modeling site activity:

- $X=[x(i)]$, $i=1,I$ – the number of dump trucks;
- $Y=[y(m)]$, $m=1,M$ – the number of possible routes;
- $U=[u(m)]$, $m=1,M$ — the number of rotations of the technological route;
- $W(i)=[w(i,1),w(i,2),\dots,w(i,j(i))]$ — technological route, where j — operation number, $j(i)$ — quantity technological operations on the route;
- $W=||w(i,j)||$, $i=1,I$, $j=1,\max(j(i))$ — technology matrix;
- $T=||T(i,j)||$ — matrix of normalized transportation times;
- $Tk=||tk(i,j)||$ — unloading time;
- $Td=||td(i,j)||$ — the time of carrying out transport operations.

As a result of the experiments carried out on the model, the values of the organizational and technical characteristics of the production system, the dynamics of loading system elements, the duration of the production cycle, the amount of work in progress, the time of production operations required for the implementation of control operations depending on the variation of the production program, structural changes of the production system are evaluated.

The crushing and sorting complex is serviced by a group of vehicles with the same or different carrying capacity.

At the beginning, there is a certain amount of production waste in the crushing and sorting complex, and in the simulated process, it is constantly filled with a constant intensity or a variable intensity in the selected units of measurement (in the specific case — tons/min). During operation, changes in the components of the service process are possible — technological, emergency or physiological exit of cars from the transportation process (minor or current repairs, lunch breaks for drivers, refueling the car with technological fluids, etc.). After loading on the bunker, the car follows to the unloading point (rock dump, unloading sites of beneficiation factories, railway junctions), unloads and returns to the crushing and sorting complex.

In the simulation, a discrete-event model of a closed mass service system, in which cars are orders that go through the following phases of service, is chosen as the base [7,8]:

1. Loading from the hopper.
2. Movement to the unloading point.
3. Unloading at dump sites.
4. Return to the bunker by the same route.
5. Maintenance failure (probable event).

A car can queue if the bunker is busy loading the rock mass of other cars standing in the queue or in the bunker, there is not enough rock mass to load the car. The listed situations in this model are classified as simple.

When conducting model experiments, it is possible to vary the composition and number of vehicles, to reserve technical means, to replace equipment that has failed, or to create new urgent orders for the production of batches of parts. Each batch contains parts of the same type, the technological route of processing of which is determined with the initial data in the form of a chain of types of equipment fixed for the performance of certain types of operations of the technological process [9,10,11].

If other cars arrive while this car is being loaded, they enter the queue or continue to be in it. The idle time of these i TQ cars is increased by the load time.

Next, the following condition is checked. If the next load time is the start time of a technological delay, then by the time this car arrives at the load, we sum up the service time of this delay and add and add it to the total time of service delays and find the start time of the next delay.

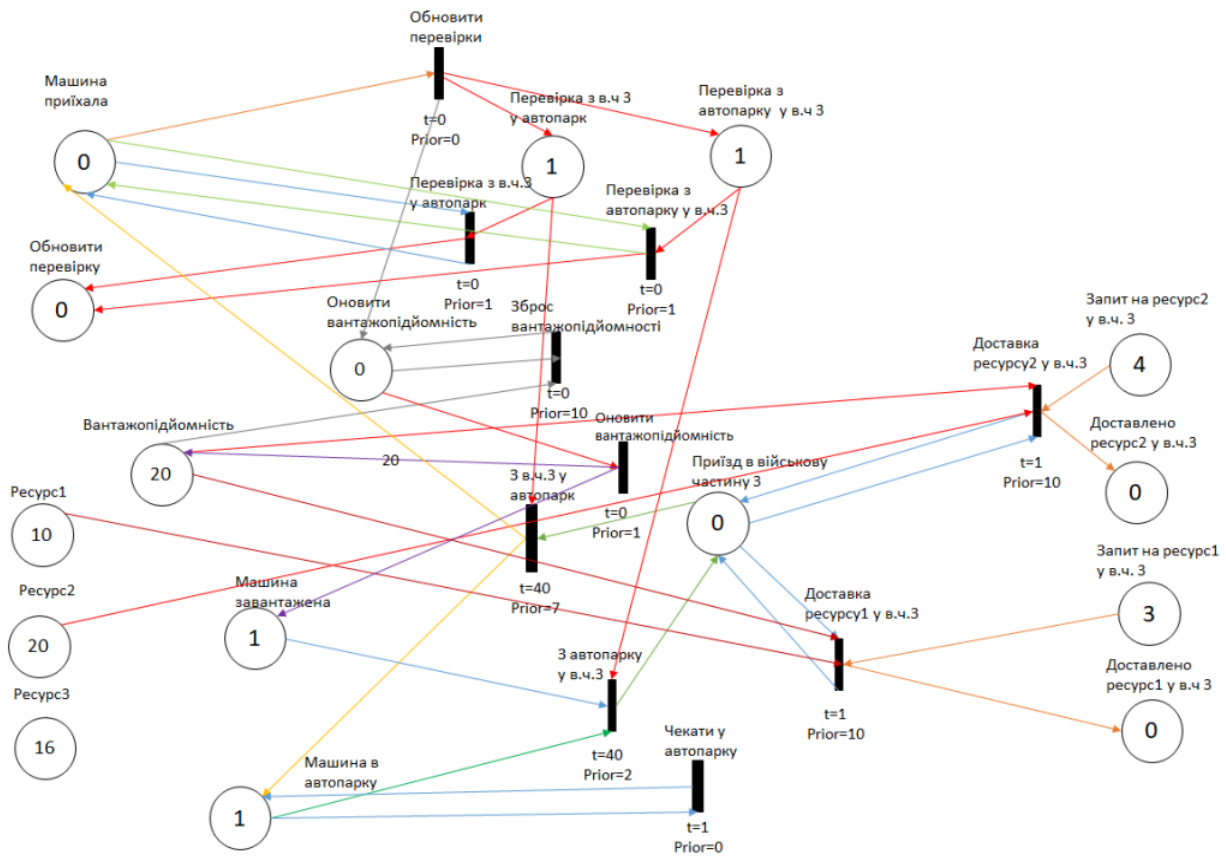


Fig. 1. Petri-Net for transportation in a mining quarry

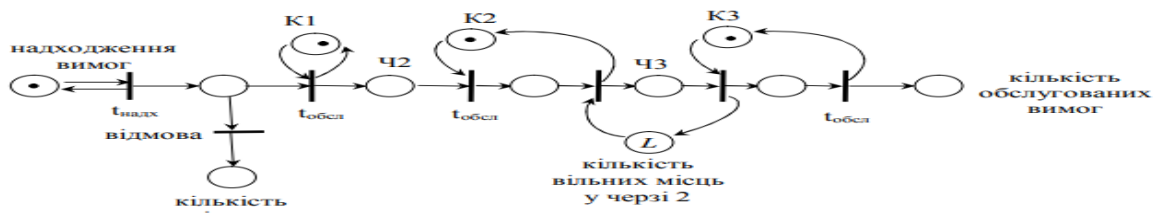


Fig. 2. A Petri net with time delays simulating the delay in a mining transport queue with usage

Conclusions

The relationship between the parameters of the transport service cycle is determined, which allows to simulate the situations that arise during the movement of trucks at mining enterprises.

The complexity and diversity of the processes of functioning of the designed systems do not always allow to obtain separate mathematical models of a traditional form for them, therefore, the method of simulation modeling was used in the work.

The distribution of dump truck operating time and speed of movement with and without cargo, idle time for technical reasons and waiting time in the queue were obtained based on a formal analysis of experimental data. These dependencies obey the exponential law.

The simulation model for managing the maintenance of technological routes has been improved, which, unlike the existing ones, takes into account the parameters of the transport service cycles (the intensity of the filling of bunkers, the average time of loading cars, the intensity of the occurrence of

abnormal time, the coefficient of downtime and repair), which made it possible to minimize the time of the transport service cycles, and to reduce idle time in the queue by 27 % for an average value of 23.4 min. for this parameter.

With the help of the proposed simulation model, it is possible not only to evaluate options for countering deviations and failures that occurred during production by redistributing resources, changing the order of starting and releasing work items, but also to predict tense and emergency situations.

References

- [1] Stetsenko, I. V. (2014) Doslidzhennia dyskretno-podiinykh system z vykorystanniam tekhnologii Petri-objektnoho modeliuвання [Research of discrete-event systems using Petri-object modeling technology] Upravliaiushchye systemy y mashyny – Control systems and machines, 5, 77–85. 32 [in Ukrainian]
- [2] MEJHA, Gonzalo, et al. (2012) Petri nets and genetic algorithms for complex manufacturing systems scheduling. *International Journal of Production Research*, 50.3., 791–803. [in Ukrainian]
- [3] Vasianyn, V. A. (2016) Zadachy postroenyia dostavochnykh y sborochnykh marshrutov perevozky melkopartyonnykh hruzov vo vnutrennykh zonakh yerarkhycheskoi avtotransportnoi sety [Problems of constructing delivery and assembly routes for the transportation of small-lot cargo in the internal zones of a hierarchical motor transport network] Matematychno modeliuвання v ekonomitsi - Mathematical modeling in economics, 3, 102–131. [in Ukrainian]
- [4] Nerush V. B., & Kurdecha V.V. (2012). Imitatsiine modeliuвання system ta protsesiv [Simulation modeling of systems and processes]. Kyiv: NN ITS NTUU "KPI". [in Ukrainian]
- [5] Tomashevskiy V.M., & Nekhai V.V. (2015) Zasoby imitatsiinoho modeliuвання dlia navchannia, yaki gruntuiutsia na movi GPSS [Simulation tools for learning based on the GPSS language] Tekhnichni nauky ta tekhnologii - Technical sciences and technologies, 2, 101–105. [in Ukrainian]
- [6] Sytnyk V.F., & Orlenko N.S. Imitatsiine modeliuвання [Simulation modeling]. Kyiv: KNEU. [in Ukrainian]
- [7] Tecnomatix Siemens Software. Siemens Digital Industries Software. <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/tecomatix/>
- [8] Siemens y Bentley yntehryuiut PLM s 3D-proektyrovanyem. TAdviser.ru. <http://www.tadviser.ru/index.php/Produkt:Tecomatix>.
- [9] Stetsenko I. V. (2011) Tekhnolohiia Petri-objektnoho modeliuвання system [Technology of Petri-object modeling of systems] Visnyk Cherkaskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu – Bulletin of the Cherkasy State Technological University, 25–30. [in Ukrainian]
- [10] Stetsenko I.V. (2010) Modeliuвання system [Modeling of systems]. Cherkasy: ChDTU. [in Ukrainian]
- [11] Vashkiv P.H. & et al.(2000) Teoriia statystyky [Theory of statistics.]. Kyiv: Lybid. [in Ukrainian]

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИРОБНИЧОГО ПРОЦЕСУ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ТЕХНОЛОГІЧНИХ МАРШРУТАХ КАРЄРУ МЕТАЛУРГІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Серета Б.П., Муковська Д.Я., Серета Д.Б.

Реферат

На сьогоднішній день саме метод імітаційного моделювання є одним із найпотужніших та найефективніших методів дослідження процесів та виробничих систем. Імітаційна модель повинна відображати велику кількість параметрів, логіку та закономірності поведінки об'єкта, що моделюється.

Імітаційне моделювання дозволяє відтворювати процес функціонування системи у часі із збереженням елементарних явищ, їхньої логічної структури та послідовності протікання у часі. Це дозволяє за вихідними даними отримати інформацію про станах процесу у майбутньому у певні моменти часу. В даний час імітаційний метод є найбільш ефективним, а найчастіше, і єдиним методом дослідження складних систем на етапі їх проектування. Імітаційна модель є динамічною моделлю, в якій всі процеси розглядаються в незмінному масштабі часу.

При аналізі події в імітаційній моделі здійснюється прогнозування часу настання події, що ініціюється даними отриманими у програмі Tecnomatix Plant Simulation.

Tecnomatix Plant Simulation — це комплексний пакет рішень для цифрового виробництва, що поєднує всі галузі виробництва та розробки виробу, від схеми виробничого процесу та проектування, моделювання та перевірки процесів до виробництва, що базується на принципах управління життєвим циклом виробу (PLM) виробничої платформи.

Визначено взаємозв'язок між параметрами циклу транспортного обслуговування, що дозволяє змоделювати ситуації, що виникають у процесі руху вантажних автомобілів на гірничодобувних підприємствах.

Складність і різноманіття процесів функціонування проєктованих систем не завжди дозволяють одержати для них окремі математичні моделі традиційного вигляду, тому у роботі було використанні методики імітаційного моделювання.

Отримано розподіл часу роботи самоскида та швидкість руху з вантажем та без вантажу, простою з технічних причин і часу очікування в черзі на основі формального аналізу експериментальних даних. Ці залежності підпорядковуються експоненційному закону.

Удосконалено імітаційну модель управління обслуговуванням технологічних маршрутів, яка на відміну від існуючих, враховує параметри циклів транспортного обслуговування (інтенсивність заповнення бункерів, середній час навантаження автомобілів, інтенсивність виникнення ненормованого часу, коефіцієнт простою та ремонту), що дало можливість мінімізувати час циклів транспортного обслуговування, а саме скоротити час простою в черзі на 27 % за середнього значення 23,4 хв. для цього параметра.

За допомогою запропонованої імітаційної моделі можна не тільки оцінювати варіанти паркування відхилень і збоїв, що виникли в ході виробництва шляхом перерозподілу ресурсів, зміни порядку запуску-випуску предметів праці, а й прогнозувати напружені та аварійні ситуації.

Література

1. Стеценко, І. В. Дослідження дискретно-подійних систем з використанням технології Петрі-об'єктного моделювання. *Управляющие системы и машины*. 2014. № (5). С. 77–85.
2. MEJNA, Gonzalo, et al. Petri nets and genetic algorithms for complex manufacturing systems scheduling. *International Journal of Production Research*. 2012. № 50.3. С. 791–803.
3. Васянин, В. А. "Задачи построения доставочных и сборочных маршрутов перевозки мелкопартионных грузов во внутренних зонах иерархической автотранспортной сети. *Математичне моделювання в економіці*. 2016. № 3-4. С. 102–131.
4. Неруш В.Б., Курдеча В.В. Імітаційне моделювання систем та процесів. Київ: НН ІТС НТУУ «КПІ», 2012. 115 с.
5. Томашевський В.М., Нехай В.В. Засоби імітаційного моделювання для навчання, які ґрунтуються на мові GPSS. *Технічні науки та технології*. 2015. № 2. С. 101–105.
6. Ситник В.Ф., Орленко Н.С. Імітаційне моделювання. Київ: КНЕУ, 1998. 230 с.
7. *Tecnomatix Siemens Software*. Siemens Digital Industries Software. <https://www.plm.automation.siemens.com/global/en/products/tecnomatix/>.
8. *Siemens и Bentley интегрируют PLM с 3D-проектированием*. TAdviser.ru. <http://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:Tecnomatix>.
9. Стеценко І. В. Моделювання систем. Черкаси: ЧДТУ, 2010. 399 с.
10. Стеценко І. В. Технологія Петрі-об'єктного моделювання систем. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2011. №4. С. 25–30.
11. Вашків П.Г., Пастер П.І., Сторожук В.П., Ткач Є.І. Теорія статистики. Київ: Либідь, 2000. 320 с.