FLEXIBLE TECHNOLOGICAL COMPLEXES

ГНУЧКІ ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ

UDC 621.002.5.001

Krestianpol O., Ph.D. in Enginiring Lutsk National Technical University / Ukraine

SIMULATION MODELING OF COMPLICATED OBJECTS OF FLEXIBLE MANUFACTURING COMPLEXES (SYSTEMS)

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СКЛАДНИХ ОБЄКТІВ ГНУЧКИХ ВИРОБНИЧИХ КОМПЛЕКСІВ (СИСТЕМ)

Abstract: *It is suggested the method, which allows to simulate and modify flexible manufacturing systems of complicated and variable structure.*
The stages of simulation modeling of flexible manufacturing systems are observed. Methods are demonstrated by an example of simulation modeling of flexible manufacturing complex of wide range of pasta production in AnyLogic screen.

Keywords: *simulation modeling, production system, readjustment, structure.*

Анотація: *Запропоновано методику, яка дозволяє моделювати і модифікувати гнучкі виробничі системи складної та змінної структури.*
Розглянуто етапи імітаційного моделювання гнучких виробничих комплексів. Методика проіллюстрована на прикладі імітаційного моделювання гнучкого виробничого комплексу виготовлення широкої номенклатури макаронних виробів у вікні програми AnyLogic.

Ключові слова: *імітаційне моделювання, виробнича система, переналагодження, структура.*

PROBLEM STATEMENT

Design-and-engineering decisions come under conditions of uncertainty associated with incomplete information available at the early design stages, with rough and inaccurate description of the certain stages of the projected production, using simplified methods of its performance evaluation etc. Therefore, it becomes important to create accurate application of methods of assessing the quality of design decisions. This will create conditions for finding the best options for the structure of flexible manufacturing systems.

In this paper suggested to use simulation model of flexible manufacturing system to assess the quality of its structure and to find "bottlenecks" in its work. The use of simulation modeling implemented by the example of the flexible manufacturing complex of packaging of various types of macaroni products.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Проектно-конструкторські рішення приймаються в умовах невизначеності, пов'язаних з неповнотою наявної інформації на ранніх етапах проектування, з грубим і неточним описом окремих стадій проектованого виробництва, використанням спрощених методик оцінки його показників тощо. Тому стає важливим створення методик застосування засобів точної оцінки якості проектних рішень. Це дозволить створити умови для пошуку кращих варіантів структури гнучких виробничих комплексів.

В даній роботі запропоновано застосувати імітаційну модель гнучкого виробничого комплексу для оцінки якості його структури і знаходжень «вузьких місць» в його роботі. Застосування імітаційної моделі здійснено на прикладі гнучкого виробничого комплексу пакування макаронних виробів різного виду.

MAIN ARTICLE

1. Basic concepts of simulation modeling

Simulation modeling is a software reproduction of system operation through playback of function or model of elements and connections. Simulation modeling is based on mathematical method of statistical testing that simulates and explores on computer process model of system operation with the formation of stochastic processes or stochastic effects.

The approach is in repeated processes formation of the system operation (runs) and subsequent statistical processing of results.

The package of simulation modeling **AnyLogic** is a software for simulation modeling of complex systems and processes. In AnyLogic editing program it is possible to develop animations and

ОСНОВНИЙ ТЕКСТ СТАТТІ

1. Основні поняття імітаційного моделювання

Імітаційне моделювання - програмне відтворення функціонування системи завдяки відтворенню функцій або моделей елементів та зв'язків. Імітаційне моделювання базується на математичному методі статистичних випробувань, який моделює і досліджує на комп'ютері модель процесу функціонування системи з утворенням випадкових процесів або випадкових впливів.

Метод полягає у багаторазовому утворенні процесів функціонування системи (прогонів) і подальшої статистичної обробці результатів.

Пакет імітаційного моделювання **AnyLogic** – програмне забезпечення для імітаційного моделювання складних систем і процесів. У редакторі AnyLogic можливо розробити анімацію та інтерактивний гра-

interactive graphical model interface.

It allows simulating and launching of production systems and their technological processes. In addition, it is provided the opportunity to optimize material flows, resources usage and logistics for all levels of production planning, from global to regional production facilities and factories and separate production lines.

фічний інтерфейс моделі.

Вона дозволяє моделювати та запускати виробничі системи та їх технологічні процеси. Крім того, забезпечується можливість оптимізації матеріалопотоків, використання ресурсів та логістики на всіх рівнях планування виробництва, від глобальних виробничих об'єктів до регіональних заводів та окремих виробничих ліній.

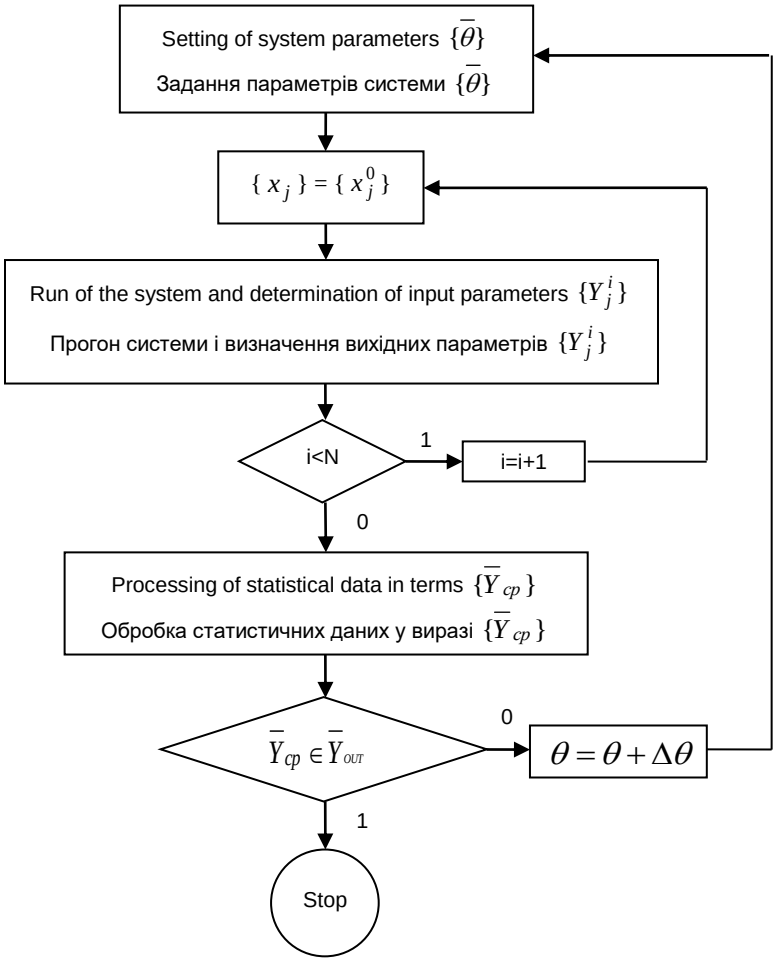


Fig. 1 − Block diagram of operation system process with formation of stochastic processes or stochastic effects:
Xj- input variables of the system, Ycp - output variables, Θ - system parameters, i – run number, N – quantity of run numbers /
Блок-схема процесу функціонування системи з утворенням випадкових процесів або випадкових впливів:
Xj- вхідні змінні системи. Yср - вихідні змінні, Θ - параметри системи, і - номер прогону, N – кількість прогонів

2. Stages of simulation modeling

Upon closer look, building of really useful simulation modeling requires a lot of work (Fig. 2). First, developer of model should determine which tasks will be solved with the help of this model, that is modeling in any form should be preceded statement of modeling purpose. This stage can be described as the creation of conceptual (content) model. It is structuring model, i.e. the selection of certain subsystems, determining of primitive components of the model and their connection at every level of the hierarchy.

2. Етапи імітаційного моделювання

При детальному розгляді, побудова дійсно корисної імітаційної моделі вимагає великої роботи (рис.2). Спочатку розробник моделі повинен визначити, які завдання будуть вирішуватись з її допомогою, тобто моделюванню в будь-якій його формі має передувати формулювання мети моделювання. Даний етап можна охарактеризувати як створення концептуальної (змістовної) моделі. На ньому відбувається структуризація моделі, тобто виділення окремих підсистем, визначення елементарних компонентів моделі та їх зв'язків на кожному рівні ієрархії.

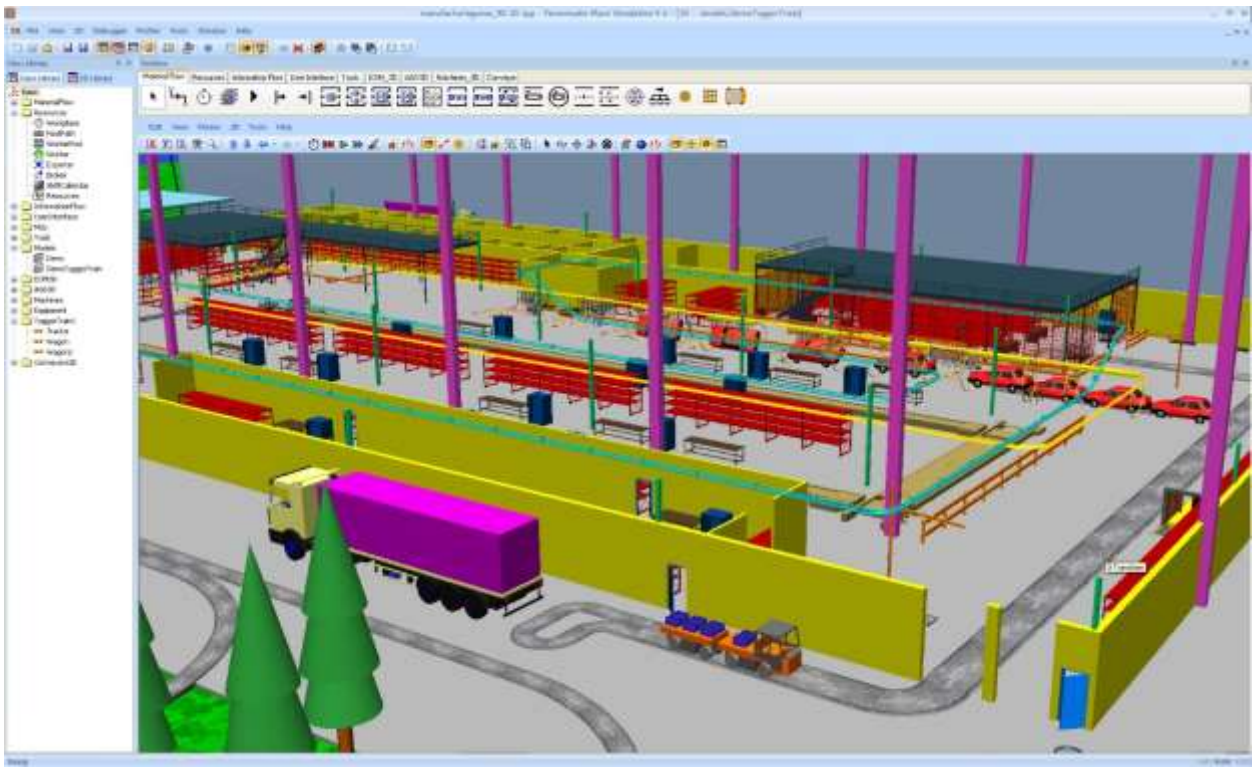


Fig. 2 − Example of production system visualization / *Приклад візуалізації виробничої системи*

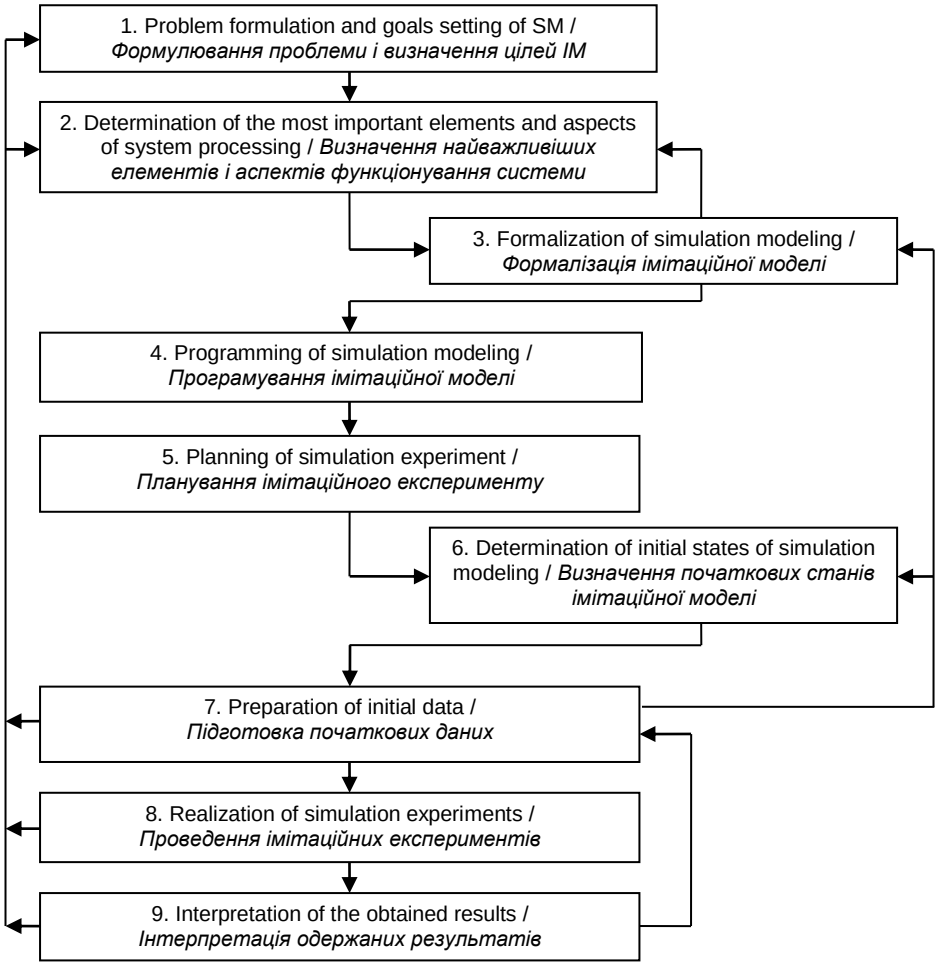


Fig. 3 − Stages of simulation modeling / *Етапи проведення імітаційного моделювання*

In simulation modeling the structure of model reflects the structure of a real modeling object at some level of abstraction and connection between components of model are reflection of real connections. Elements of the system, their connection, parameters and variables and also their correlation, and their change laws must be expressed by means of simulation environment that is, in this environment must be identified variables and parameters of the model, constructed procedures for calculating change of variables and characteristics of the model over time.

У імітаційному моделюванні структура моделі відображає структуру реального об'єкта моделювання на деякому рівні абстракції, а зв'язки між компонентами моделі являються відображенням реальних зв'язків. Елементи системи, їх зв'язки, параметри і змінні, а також їх співвідношення і закони їх зміни повинні бути виражені засобами середовища моделювання, тобто в цьому середовищі повинні бути визначені змінні і параметри моделі, побудовані процедури обчислення зміни змінних і характеристик моделі в часі.

Table 1

Stages of computer simulation / *Етапи комп'ютерного моделювання*

No	Stage name / Назва етапу	Result / Результат
1	System analisis / *Аналіз системи*	Understanding of what happens in the system to be analyzed, which is its structure, which processes occurre in it / *Розуміння того, що відбувається в системі, що підлягає аналізу, яка її структура, які процеси в ній перебігають*
2	Objective statement of the system modeling / *Формулювання мети моделювання системи*	Tasks list that is need to solve by future model. List of input and poutput model parameters, a list of output data, the criteria for the ending of future research / *Список завдань,які потрібно буде вирішити за допомогою майбутньої моделі. Список вхідних і вихідних параметрів моделі, список вихідних даних, критерії завершення майбутнього дослідження*
3	Development of a conceptual model structure / *Розробка концептуальної структури моделі*	The structure of the model, structure of existing processes, which should be reflected in the model, fixed level of abstraction for each subsystem of model, description of logic control and connection of subsystems / *Структура моделі, склад існуючих процесів, що потрібно відобразити в моделі, зафіксований рівень абстракції для кожної підсистеми моделі, опис керуючої логіки та зв'язку підсистем*
4	Implementation of the model in the simulation environment / *Реалізація моделі в середовищі моделювання*	Completed subsystems, their parameters and variables, their behavior, implemented logic and connection of subsystems / *Реалізовані підсистеми, їх параметри та змінні, їх поведінка, реалізована логіка та зв'язки підсистем*
5	Implementation of animated model presentation / *Реалізація анімаційного представлення моделі*	Animated image of model, user interface / *Анімаційне зображення моделі, інтерфейс користувача*
6	Checking the accuracy of the model / *Перевірка коректності реалізації моделі*	Checking if the model reflects correctly the real system processes that is needed to be analyzed / *Перевірка того, що модель коректно відображає ті процеси реальної системи, які потрібно аналізувати*
7	Calibration of model / *Калібровка моделі*	Fixation of parameter values, coefficients of equations and distribution of random variables, which reflect the situation for which the model will be used / *Фіксація значень параметрів, коефіцієнтів рівнянь та розподілу випадкових величин, котрі відображають ті ситуації, для яких модель буде використовуватись*
8	Planning and conducting of computer experiment / *Планування та проведення комп'ютерного експерименту*	The simulation results - graphs, tables, etc., that provide answers to raised questions / *Результати моделювання – графіки, таблиці і т.п., котрі дають відповіді на поставлені питання*

If it is necessary for greater understanding of the processes occurring in the model should be developed animated presentation of these processes.

Then constructed model should be tested in terms of correct implementation.

The next stage is the calibration or identification of model, i.e. data collection and measurement of those characteristics in a real system to be introduced in the model as parameter values and

При необхідності для більшого розуміння процесів, що протікають в моделі, має бути розроблено анімаційне представлення цих процесів.

Потім побудована модель повинна бути перевірена з точки зору коректності її реалізації.

Наступний етап - це калібрування або ідентифікація моделі, тобто збір даних і проведення вимірювань тих характеристик в реальній системі, які повинні бути введені в модель у вигляді значень параметрів і розподілів випадкових величин.

distribution of stochastic dimensions.

Then it is necessary to check the correctness of the model (its validation), which is that the output of the model is tested on several test modes in which behavior of the real system is known or obvious. The last stage of work with model is a computer experiment, that is actually the reason for which model was created.

In the simplest case, the experiment is an implementation of model in different values of existing parameters (factors) and observing its behavior to the registration of the characteristics of behavior. This type of model usage is called prediction or experiment such as "what if ...".

Computer simulation enables not only to get prediction, but also to determine which control impacts on the system will lead to a favorable development. More complex experiments can perform sensitivity analysis of model, the risk assessment of different options of control solutions, and also optimization to determine the parameters and conditions for sustainable operation of model.

One of the important issues is the presentation and analysis of simulation results. Simulation modeling method is in repeating formation processes of the system operation (runs) and subsequent statistical processing of results.

3. Simulation modeling of flexible manufacturing packaging system

As an example of implementation can be the simulation modeling of complex objects such as the operation of flexible manufacturing systems of manufacturing and packaging of macaroni products with application AnyLogic program. For this, let's describe production of 7 kinds of macaroni.

The line works as follows: macaroni products are extruded and fed to overdrying where they previously are shaken and dried out. After that, products go to drying room number 1 by bucket conveyor, where it passes through the conveyor belts and dry out for 55 minutes. Further pasta goes to drying room number 2 by bucket conveyor, where products are passed through the transporter system finally dried for 5 hours. Ready-made macaroni products after drying room number 2 go to refrigerating system by bucket conveyor. Then products go to one of the available bins by conveyor belt. From filled hopper production goes to one of the packaging machines, depending on consumer demand. Packaged products are put together by packagers onto pallets, which after filling are drove by electric loader to the finished goods stock location.

Далі, необхідно виконати перевірку правильності моделі (її валідацію), яка полягає в тому, що вихід моделі перевіряється на декількох тестових режимах, в яких, характеристики поведінки реальної системи відомі або очевидні. Останнім етапом роботи з моделлю є комп'ютерний експеримент, тобто власне те, заради чого і створювалася модель.

У найпростішому випадку експеримент - це виконання моделі при різних значеннях її існуючих параметрів (факторів) і спостереження її поведінки з реєстрацією характеристик поведінки. Цей вид використання моделі називається прогнозом, або експериментом типу «що буде, якщо ...». Комп'ютерне моделювання дозволяє не тільки отримати прогноз, але і визначити, які керуючі впливи на систему приведуть до сприятливого розвитку подій. Більш складні експерименти дозволяють виконати аналіз чутливості моделі, оцінку ризиків різних варіантів керуючих рішень, а також оптимізації для визначення параметрів і умов раціонального функціонування моделі.

Одне з важливих питань - представлення та аналіз результатів моделювання. Метод імітаційного моделювання полягає у багаторазовому утворенні процесів функціонування системи (прогонів) і подальшої статистичної обробці результатів.

3. Імітаційне моделювання гнучкої виробничої системи пакування

Прикладом реалізації може слугувати імітаційне моделювання складних об'єктів таких як функціонування гнучких виробничих комплексів виготовлення та пакування макаронних виробів із застосуванням програми AnyLogic. Для цього опишемо виробництво макарон 7 видів.

Лінія працює наступним чином: макаронні вироби видавлюються пресом та поступають у пресушку, де вони попередньо розтрушуються та підсушуються. Після цього продукція кошиковим транспортером подається до сушки номер 1, де вона проходить через систему стрічкових транспортерів та підсушується протягом 55 хвилин. Далі макаронні вироби кошиковим транспортером подаються до сушки номер 2, де продукція пройшовши через систему транспортерів остаточно висушується протягом 5 годин. Готові макаронні вироби після сушки номер 2 ковшиковим транспортером подаються в холодильну установку. Після цього продукція стрічковими транспортерами поступає до одного з вільних бункерів. З заповненого бункера продукція поступає до одного з пакувальних автоматів в залежності від запитів споживачів. Запакована продукція складається пакувальницями-укладальницями на палети, котрі після заповнення електронавантажувач відвозить на склад готової продукції.

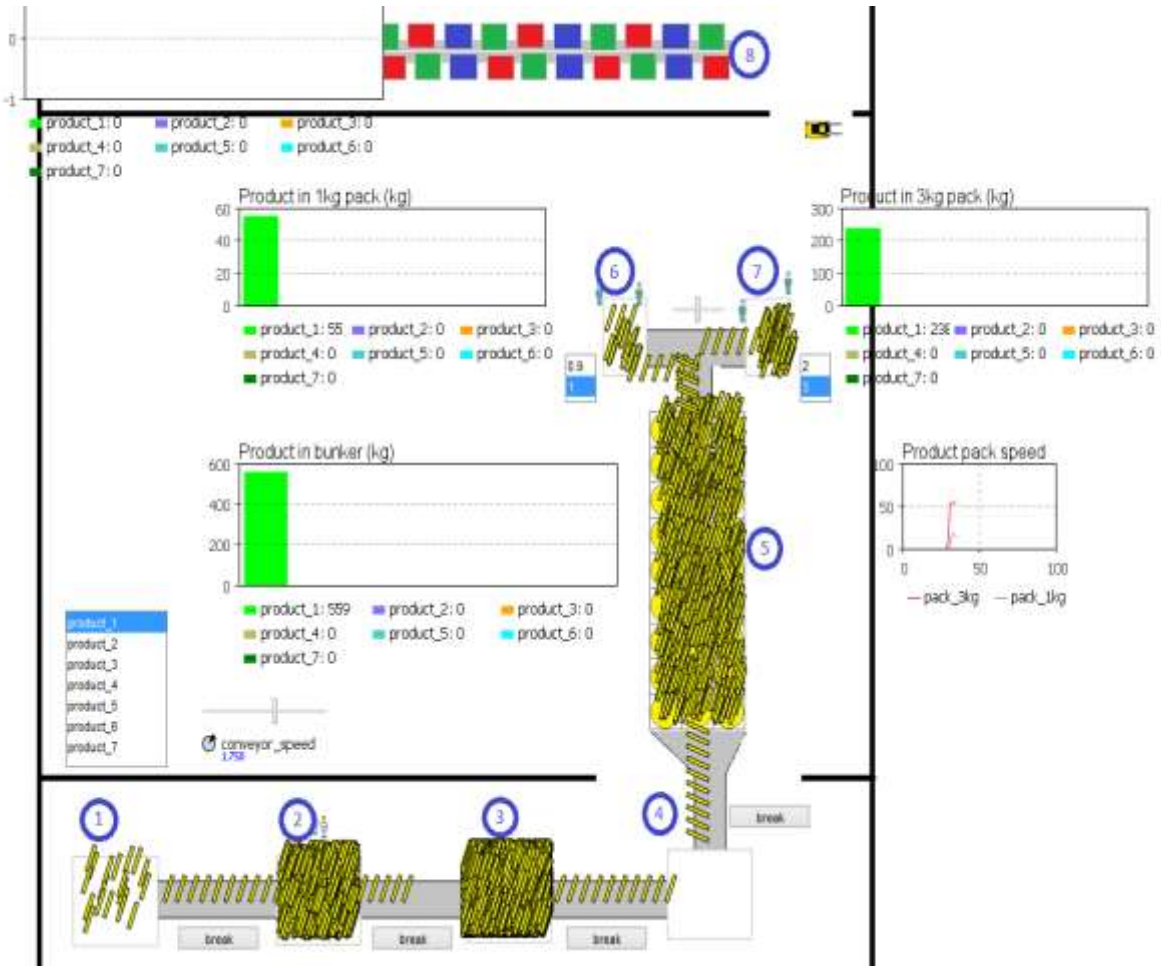


Fig. 4 − Key elements of the model / *Ключові елементи моделі*

The duration of each stages of the production, obtained by experiment, we show in Table 2.

Тривалість кожної з стадій виробництва, отримані дослідним шляхом, ми відобразимо в таблиці 2.

Table 2

The duration of the production stages / *Тривалість стадій виробництва*

No.	Production stage / Стадія виробництва	Duration, min / Тривалість, хв.
1	Press and overdrying / Прес та пресушка	5
2	Drying room No.1 / Сушка №1	55
3	Drying room No.2 / Сушка №2	300
4	Refrigerating system / Холодильна установка	5
5	Hopper / Бункер	50-80
6	Packaging machine1 kg (0,9kg) / Пакувальна машина 1 кг (0,9кг)	0,077
7	Packaging machine 3 kg (kg) / Пакувальна машина 3 кг (2кг)	0,066

In total can be produced 7 kinds of products. Due to the different forms of products and their different flowability, duration of hoppers filling of different type of products is also different. Data on

Всього може випускатись 7 видів продукції. У зв'язку з різною формою виробів, а в результаті різною їх сипучістю, тривалість наповнення бункерів різним видом продукції теж є різною. Дані про

filling hoppers obtained by experiment tabulated in Table 3.

наповнення бункерів, отримані дослідним шляхом, внесемо у таблицю 3.

Table 3

Duration of filling hopper with finished products / *Час наповнення бункера готовою продукцією*

Type of product / Вид продукції	Duration, min / Час наповнення, хв
Tube / Трубочка	55
Spiral / Спіраль	50
Elbow / Ріжки	60
Straws / Ріжки соломка	70
Vermicelli / Вермішель	80
Shell macaroni / Ракушки	60
Conchiglie shells / Черепашки	70

It is necessary to examine, depending on the mode of packaging, conveyor belt speed and frequency of breakdowns lines, the frequency change of the product types, load conditions of production elements such as: 1) hoppers; 2) packaging machines; 3) finished goods stock.

Thus, the input parameters to construct simulation model are:

- type of production;
- the speed of the conveyor;
- packaging machines parameters (packaged products weight);
- breakdowns of conveyors.

It should be noted that all parameters can be changed at the moment of model run.

Let's carry out this model in discrete-event abstraction. First of all, let's make the location scheme of the key elements of the model (Fig. 5).

Numbers of notation convention elements correspond to Table 2, the storage - the position 8. Let's simulate work of two employees in operating unit, in filling line - four workers and a driver, and also simulate work of the finished goods stock - will come trucks and pick up products.

The logic of the construction and operation of this scheme is the following: elements perform their function in a logical scheme of the enterprise.

Logic charts generate application which then moves by the scheme; therewith each application passes all stages, taking a decision at the time of passage not knowing in advance what will happen next.

Storing products in finished goods stock is modeled by queue10 and delay10 elements. SelectOutput12 element checks if there is a machine for loading, selectOutput15 element checks whether it is needed to load a machine, or it is already loaded. Sink1 element simulates transportation of products from finished goods stock.

Необхідно дослідити в залежності від режимів фасування, швидкості конвеєрної стрічки та частоти поломок лінії, частоти зміни виду продукції, що випускається, стан завантаженості елементів виробництва, а саме: 1) бункерів; 2) пакувальних машин; 3) складу готової продукції.

Таким чином, вхідними параметрами для побудови імітаційної моделі будуть:

- вид продукції;
- швидкість транспортера;
- параметри фасувальних автоматів (маса фасованої продукції);
- поломки конвеєрів.

Слід зазначити, що всі параметри можуть бути змінені безпосередньо в момент виконання моделі.

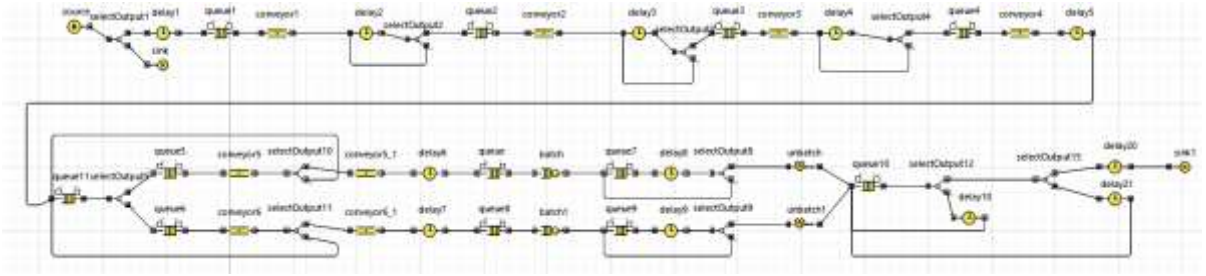
Будемо виконувати дану модель у дискретно–подієвій абстракції. Спочатку зробимо схему розташування ключових елементів моделі (Рис. 5).

Номери умовних позначок елементів системи відповідають таблиці 2, склад – позиція 8. У виробничій частині змоделюємо роботу двох працівників, у фасувальній – 4 працівників та водія, а також змоделюємо роботу складу готової продукції – будуть приїжджати вантажівки та забирати продукцію.

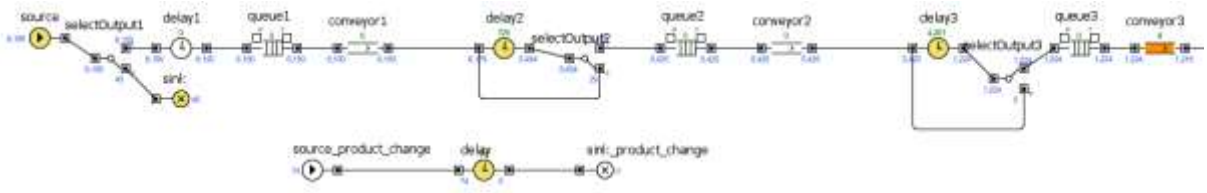
Логіка побудови та роботи цієї схеми - елементи виконують свою функцію у логічній схемі підприємства.

Логічні схеми генерують заявки, котрі потім рухаються за схемою, при цьому кожна заявка проходить всі стадії, приймаючи рішення в момент проходження, тобто заздалегідь не знаючи, що буде далі.

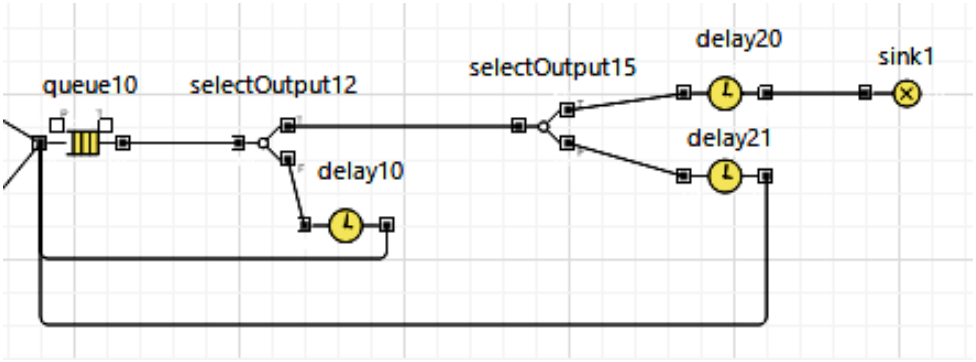
Зберігання продукції на складі ГП моделюється елементами queue10 та delay10. Елемент selectOutput12 перевіряє чи є машина на загрузку, елемент selectOutput15 перевіряє чи потрібно ще завантажувати авто, чи воно вже заповнене. Елемент sink1 моделює вивезення продукції зі складу ГП.



a



b



c

Fig. 5 − The logic scheme line (a) its first section (b) and stock (c) /
Логічна схема лінії (а), її першої дільниці (b) та складу (с)

source - element responsible for generating logic unit / *елемент, що відповідає за генерацію логічної одиниці продукції*; delay1 - press and pre-drying / *прес та пре сушка*; delay2 - drying 1 / *сушка 1*; delay3 - drying 2 / *сушка 2*; delay4 - refrigeration system / *холодильник*; delay5 – hopper / *бункера*; delay6 - filling machine 3 kg (or 2kg) / *фасувальна машина 3 кг (або 2кг)*; delay7 - filling machine 1 kg (or 0.9kg) / *фасувальна машина 1 кг (або 0.9 кг)*; batch, batch1 - forming of pallets / *формування палети*; delay8, delay9 – transportation of products to finished goods stock / *перевезення продукції до складу ГП*; unbatch, unbatch1 - assembly of products to the finished goods stock / *складання продукції на склад ГП*; queue10, delay10 - storage of products in finished goods stock / *зберігання продукції на складі ГП*; delay20 - loading of products to the truck / *завантаження продукції до вантажівки*; sink1 - export of products by truck from the enterprise / *вивезення продукції вантажівкою з підприємства*.

The AnyLogic software based on object-oriented concepts. Object-oriented approach in designing complex objects is a modern and effective method of managing of the complexity of information.

Usege AnyLogic software makes it possible to evaluate the effect of design decisions in complex systems of the real world (Figure 6).

In its turn simulation modeling allows an easy and natural way to organize and present the structure of complex objects of technological systems.

Coefficient of readiness - the probability of that object will be operational at any moment in time, except for scheduled periods during which usage of the object for purposes is not provided.

By experience we received the following:

Time to failure: t_1=47min, t_2=18min, t_3=360min, t_4=220min, t_5=34min.

Recovery time: t_{1r}=15min, t_{2r}=5 min, t_{3r}=12 min, t_{4r}=25 min, t_{5r}=5 min.

Програмний продукт AnyLogic заснований на об'єктно-орієнтованій концепції. Об'єктно-орієнтований підхід при проектуванні складних об’єктів є сучасним та ефективним методом управління складністю інформації.

Використання програмного продукту AnyLogic дає можливість оцінити ефект конструкторських рішень в складних системах реального світу (рис.6).

В свою чергу імітаційне моделювання дозволяє простим і природнім чином організувати і представити структуру складних об’єктів технологічних комплексів.

Коефіцієнт готовності (англ. coefficient of readiness) – ймовірність того, що об'єкт виявиться працездатним у довільний момент часу, крім запланованих періодів, протягом яких використання об'єкта за призначенням не передбачено.

Дослідним шляхом ми отримали такі дані:

Наробіток до відмови: t_1=47хв, t_2=18хв, t_3=360хв, t_4=220хв, t_5=34хв.

Час відновлення: $t_{1в}$=15хв, $t_{2в}$=5хв, $t_{3в}$=12хв,

Then: $t_{4в}$=25хв, $t_{5в}$=5хв.

Тоді

t_m = (47 + 18 + 360 + 220 + 34) / 5 = 135,8 min.

t_r = (15 + 5 + 12 + 25 + 5) / 5 = 12,4 min.

Thus the availability factor is: Таким чином коефіцієнт готовності становить:

$$K_{\Gamma} = \frac{135{,}8 + 12{,}4}{135{,}8} = 0{,}916$$

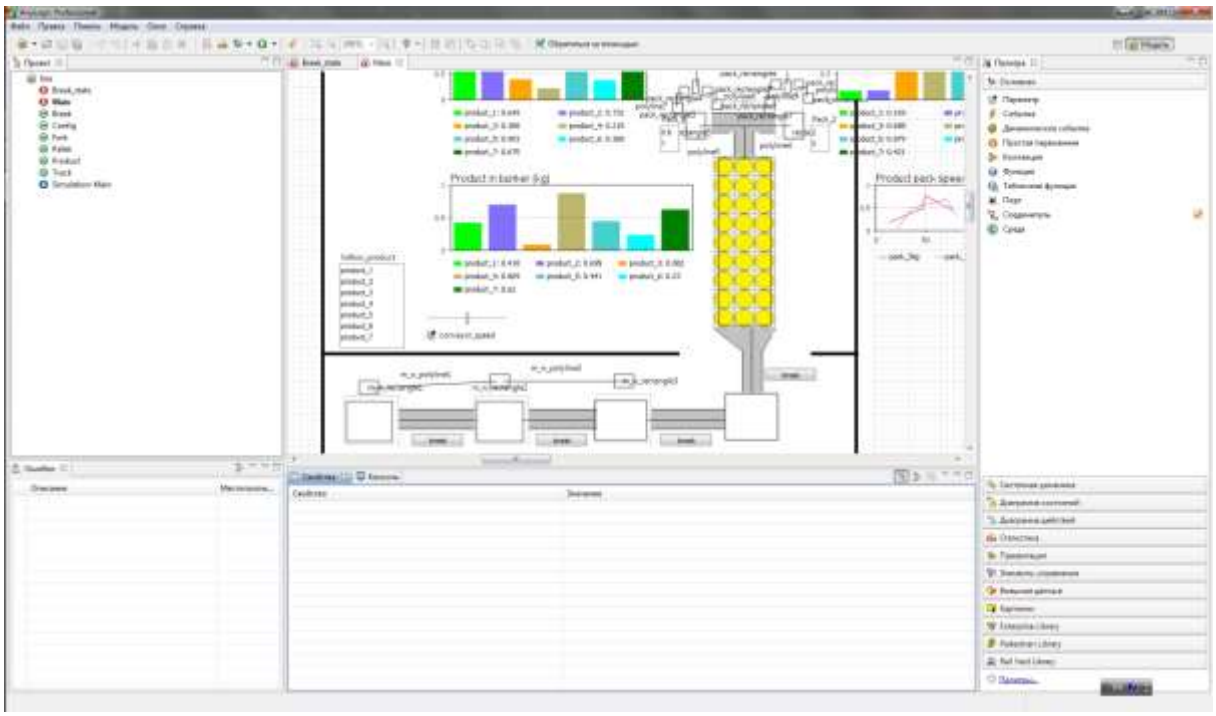


Fig. 6 − Simulation modeling of compicated objects of flexible manufacturing complexes and packaging of macaroni products in AnyLogic splash screen / *Імітаційне моделювання складних об'єктів гнучких виробничих комплексів виготовлення та пакування макаронних виробів у вікні програми AnyLogic*

CONCLUSIONS

1. Principles of modeling with variable structure modification of flexible manufacturing systems are exemined.

2. During modeling it is provided the opportunity to optimize material flows and use of resources at all levels of production, from global production facilities to regional factories and separate production lines.

3. It is mplemented stages of simulation modeling of flexible manufacturing system using AnyLogic software.

4. Method allows to simulate and optimize the organization of readjustment of flexible manufacturing systems.

ВИСНОВКИ

1. Розглянуті принципи моделювання при модифікації змінної структури гнучких виробничих систем.

2. При модлелюванні забезпечується можливість оптимізації матеріалопотоків і використання ресурсів на всіх рівнях виробництва, від глобальних виробничих об'єктів до регіональних заводів та окремих виробничих ліній.

3. Реалізовано етапи імітаційного моделювання гнучкої виробничої системи за допомогою програмного забезпечення AnyLogic.

4. Методика дозволяє моделювати та оптимізувати організацію переналагоджень гнучких виробничих систем.

REFERENCES

[1] Palchevskyi B., Swic A., Krestianpol O. Komputerowo zintegrowane proektowanie elastycznych systemow produkcyjnych: monografia.- Lublin: Politechnika Lubelska, P.2015.-376

[2] Krestianpol O. Systematic and Structural Approach to the Formation of Flexible Manufacturing Systems for Packaging. //Monografie Computer Aided Production Engineering.- Politechika Lubels-

БІБЛІОГРАФІЧНІ ПОСИЛАННЯ

[1] Palchevskyi B., Swic A., Krestianpol O. Komputerowo zintegrowane proektowanie elastycznych systemow produkcyjnych: monografia.-Lublin: Politechnika Lubelska, P.2015.-376

[2] Krestianpol O. Systematic and Structural Approach to the Formation of Flexible Manufacturing Systems for Packaging. //Monografie Computer Aided Production Engineering.- Politechika Lubelska: 2013.- P.9-19.

ka: 2013.- P.9-19.
[3] Palchevskyi B., Krestianpol O., Bondarchuk D. Calculation of functional devices of packaging machines. – Lutsk: Vezha-Print. – 2014. – P. 264
[4] Gola A., Swic A. Design of storage subsystem of flexible manufacturing system using the computer simulation method. // Actual problems of economics. – 2013. – No. 4.
[5] Swic A., Gola A., Economic analysis of the production of parts of casings in a flexible manufacturing system. // Actual problems of economics. – 2013. – No. 3.
[6] Swic A., Gola A., A method of qualification of parts for production in a flexible manufacturing system. // Actual problems of economics. – 2013. – P. 576-585.
[7] http://elearning.sumdu.edu.ua

[3] Пальчевський Б.О., Крестьянполь О.А., Бондарчук Д.В. Розрахунок функціональних пристроїв пакувальних машин.-Луцьк: Вежа-Друк, 2014.-264 с.
[4] Гола А., Свиц А. Проектування підсистеми складування гнучкої виробничої системи з використанням методів комп'ютерного моделювання. // Актуальні проблеми економіки. – 2013.
[5] Свиц А., Гола А. Економічний аналіз виготовлення деталей корпусів у гнучкій виробничій системі. // Актуальні проблеми економіки. – 2013.
[6] Свиц А., Гола А. Метод класифікації деталей для виготовлення в гнучкій виробничій системі. // Актуальні проблеми економіки. – 2013.
[7] http://elearning.sumdu.edu.ua