UDC 658.52

Palchevskyi B., DThSc., Professor. Lutsk National Technical University / Ukraine
Velykyi O.

METHODOLOGY OF AUTOMATED DEFINING OF OPTIMAL TERMS IN TECHNOLOGICAL COMPLEX MAINTENANCE INTRODUCTION

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ТЕРМІНІВ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

***Abstract**: One of the problems of automated technological complex (TC) exploitation is low efficiency of basic equipment usage because of its downtimes in the course of restoring its capacity.*
To identify ways to improve the reliability of packaging machines have been performed operational research. Studies of existing machines have shown that components that provide the possibility of automatic operation, a large share of failures and disaster recovery time. The results presented by the example of the machine for packaging milk in plastic bags allowed to identify ways to improve its reliability when working in existing and newly projected automated lines.

***Keywords:** technological complexes, reliability, object-oriented design*

***Анотація**: Однією з проблем експлуатації автоматизованих технологічних комплексів (ТК) є невисока ефективність використання основного обладнання через його простої при відновленні працездатності.*
Для визначення шляхів підвищення надійності пакувальних машин, були виконані експлуатаційні дослідження. Дослідження діючих автоматів показали, що на вузли, що забезпечують можливість автоматичної роботи, припадає значна частка відмов і часу відновлення працездатності. Викладені результати на прикладі автомата для упаковки молока в полімерні пакети дозволили визначити шляхи підвищення його надійності при роботі в діючих і знову проектіруемих автоматизованих лініях.

***Ключові слова**: технологічні комплекси, надійність, об'єктно-орієнтоване проектування*

INTRODUCTION

As time has shown, one of the problems of automated technological complex (TC) exploitation is low efficiency of basic equipment usage because of its downtimes in the course of restoring its capacity. There is a number of works where different strategies of TC maintenance are analyzed. Approaches that let us calculate optimal terms of TC maintenance according to availability criterion are known. This approach is plausible to use for TC, subsystems of which are similar in reliability. All subsystems that belong to a TC should be maintained at the equal time intervals. It should correspond to the optimal term of maintenance of the most unreliable subsystem. If a TC consists of subsystems which are completely different in reliability, then maintenance within equal time intervals will not allow to efficiently use the reliability potential of other more reliable subsystems.

ВСТУП

Як показує досвід, однією з проблем експлуатації автоматизованих технологічних комплексів (ТК) є невисока ефективність використання основного обладнання через його простої при відновленні працездатності. Існує ряд робіт, в яких розглядаються різні стратегії обслуговування ТК. Відомі підходи, що дозволяють обчислювати оптимальні за критерієм готовності періоди технічного обслуговування ТК. Цей підхід доцільно застосовувати для ТК, підсистеми якого близькі по надійності. При цьому всі підсистеми, що входять в склад ТК, повинні обслуговуватися з однаковою періодичністю, що відповідає оптимальному періоду обслуговування найбільш ненадійної підсистеми. Якщо ж ТК складається з підсистем, що істотно відрізняються по надійності, то обслуговування їх з однаковою періодичністю не дозволить раціонально використовувати надійнісний потенціал інших, більш надійних підсистем.

PROBLEM STATEMENT

For us to efficiently use technological automation within TC and functionality modules within technological automation, optimal terms of technical TC components maintenance should be set. Due to this research on their componential reliability is conducted. Since technological system includes a set of technical components, that are related to and connected with one another, and form a certain unity, the results of componential reliability analysis are used to determine reliability of technical pieces of a higher level (mechanism, subsystem, machine).

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Для забезпечення ефективного використання технологічних автоматів в складі ТК та функціональних модулів у складі технологічного автомату, необхідно визначити оптимальні терміни обслуговування технічних компонент ТК. Для цього проводять дослідження їх компонентної надійності. Оскільки технологічна система, як відомо, включає в себе сукупність технічних компонент, що знаходяться у відносинах і зв'язках один з одним, утворюючи певну цілісність і єдність ТК, то результати дослідження компонентної надійності використовують для визначення надійності технічних засобів більш високого ієрархічного рівня (механізм, підсистем, машин тощо).

THE MAIN ARTICLE

The methodology was realized on the example of TC componential reliability analysis for milk

ОСНОВНИЙ ТЕКСТ СТАТТІ

Методика реалізована на прикладі аналізу компонентної надійності ТК на базі автомата для

packaging machine that works with AO-111 packets. Functional elements of this system are: a piston batcher, a device for milk pouring, a mechanism of lengthwise packet welding, a mechanism of crosswise welding with package cutting and further arm moving, a conveyer for shipping of full packets, a conveyer for shipping boxes.

упаковки молока в пакети моделі АО-111. Функціональними елементами цієї системи є: поршневий дозатор, пристосування для введення молока в пакет, рукавоутворювач, механізм поздовжнього зварювання пакету, механізм поперечного зварювання з відрізанням пакета і протягуванням рукава на крок, транспортер для відводу заповнених пакетів і транспортер для відводу ящиків.

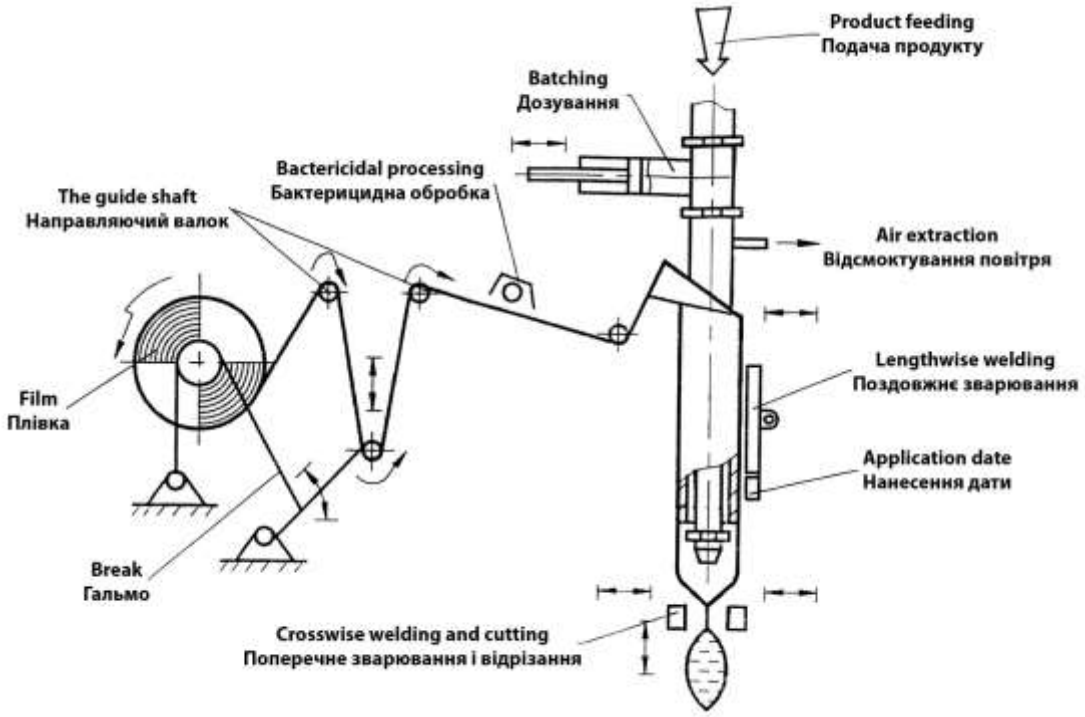


Fig. 1 – Technological scheme of AO-111 machine / *Технологічна схема автомата АО-111*

The time study of machine functioning and off-time has shown some typical failures:

• knocks of the crosswise welding mechanism against the upper bearing
• mechanisms' clattering
• excessive diffusion of product dose
• low quality of lengthwise welding
• low quality of crosswise welding
• a film fold in crosswise welding, poor mobility of film on arm component.

The duration of failure-free functioning and failure removal has been noted (table 1).

Проведений хронометраж роботи і простоїв автомата показав наявність типових відмов, а саме:

• Удари механізму поперечної зварювання про верхню опору.
• Сильний стукіт механізмів.
• Надмірне розсіювання дози продукту.
• Неякісний поздовжній шов.
• Неякісний поперечний шов.
• Складка плівки з поперечним швом, погане протягування плівки на рукавообразователе.

Тривалість періодів безвідмовної роботи, тривалість їх усунення точно фіксувалися (табл. 1).

Table 1

Time of failure-free functioning of AO-111 machine and its mechanisms (extract) / *Періоди безвідмовної роботи автомату АО-111 та його механізмів (фрагмент)*

№ of failure	Running time of failure	Total duration of functioning	Duration of restoring	Mechanism of the machine that failed				
				Mechanism of lengthwise welding	Batcher	Mechanism of arm moving and crosswise welding	Mechanism of forming arm	Pneumosystem
i	t_i	$\sum t_i$	T_i	**S1**	**S2**	**S3**	**S4**	**S5**
1	18	18	15			●		
2	127	145	30					●
3	62	207	26	●				
4	62	269	30		●			
5	147	416	32			●		
6	175	591	10				●	

For automated analysis and retrieving of the results received, software “Safety” was developed.

Principles of object-orienting projecting are used while entering data. In this case the objects are the main nodes and mechanisms of the machine that form its hierarchical structure (Fig. 2). Relations between objects are established and they show interdependence between the structural components of the machine.

Для автоматизованого аналізу та обробки результатів отриманих даних, була розроблена комп’ютерна програма «Safety».

Введення даних в програму відбувається з використанням принципів об’єктно-орієнтованого проектування. Об’єктами в даному випадку виступають основні вузли та механізми машини, що формують її ієрархічну структуру (рис. 2). Між об’єктами встановлюються зв’язки, що показують взаємозалежність між структурними елементами машини.

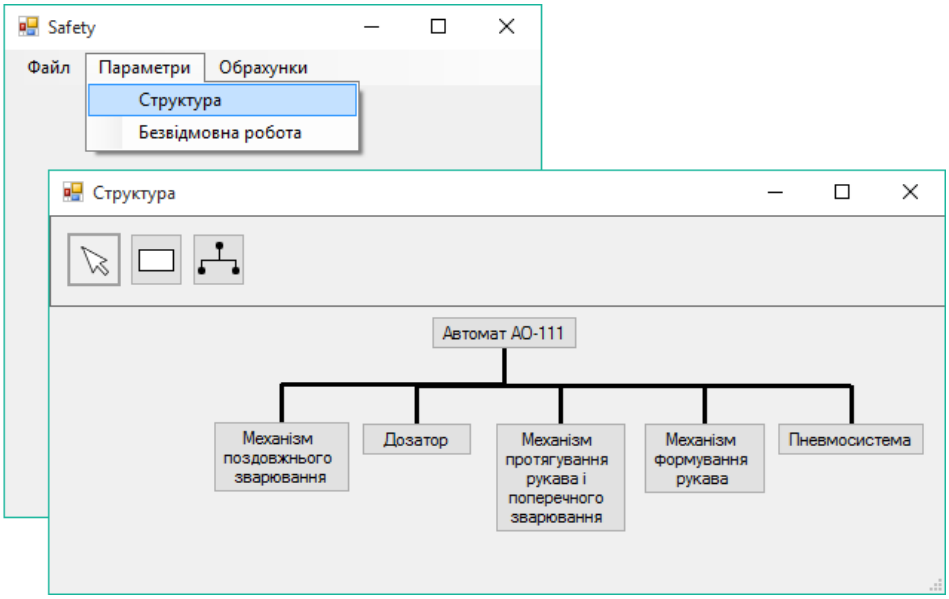


Fig. 2 – Window of hierarchical structure forming in Safety / Вікно формування ієрархічної структури машини в програмі Safety

The next step in data unput is creating a cyclogram on the basis of noted times of failure-free machine functioning (Fig. 3). Besides, for every period of cyclogram extra data is added which shows which node or mechanism failed and the time used to restore its functioning (Fig. 4).

Наступним етапом введення даних в програму є побудова циклограми на основі отриманих зафіксованих періодів безвідмовної роботи автомата (рис. 3). Крім того, для кожного з періодів циклограми вносяться додаткові дані, що показують, який з вузлів чи механізмів відмовив та час, затрачений на відновлювальні роботи (рис 4).

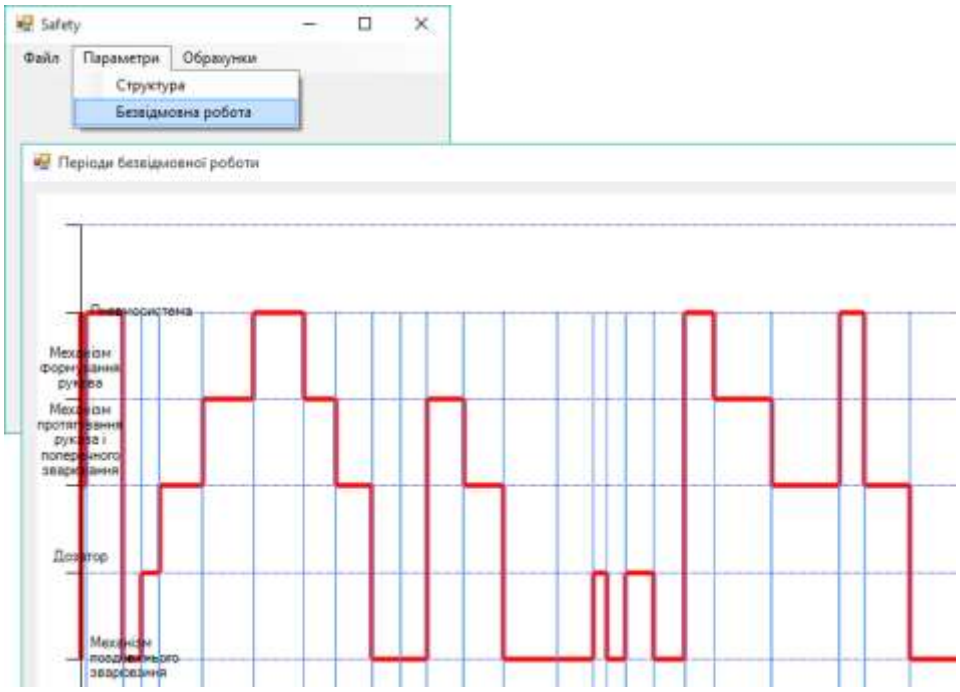


Fig. 3 – Window of creating a cyclogram in Safety with periods of failure-free machine functioning / *Вікно побудови циклограми періодів безвідмовної роботи в програмі Safety*

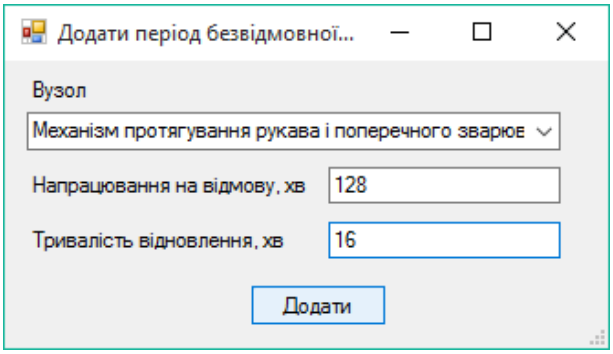


Fig. 4 – Adding parameters in cyclogram's periods / *Задання додаткових параметрів періодів циклограми*

On the basis of failure-free machine functioning sequences the reliability of technological automated machine is calculated.

On the first stage the time is divided into intervals (fig. 5) and the diagram of failure-free functioning division is created (fig. 6).

На базі послідовності періодів безвідмовної роботи автомата проводяться обрахунки надійності компонентів технологічного автомата.

На першому етапі відбувається розподіл за інтервалами (рис. 5) та будується діаграма розподілу тривалостей безвідмовної роботи (рис. 6).

	Інтервал 1	Інтервал 2	Інтервал 3	Інтервал 4	Інтервал 5	Інтервал 6	Інтервал 7	Інтервал 8
Межі інтервалу	0 - 32	32 - 64	64 - 96	96 - 128	128 - 160	160 - 192	192 - 224	224 - 256
Середина інтервалу	16	48	80	112	144	176	208	240
Кількість випадків	4	4	6	8	5	3	1	2
Статистична функція надійності	0,886	0,771	0,600	0,371	0,229	0,143	0,114	0,057
Аргумент імовірнісної функції надійності	0,272	0,544	0,815	1,087	1,359	1,631	1,903	2,175
Імовірнісна функція надійності	0,765	0,585	0,447	0,342	0,262	0,200	0,153	0,117

Fig. 5 – Division of failure-free machine functioning into intervals in Safety / *Розподіл періодів безвідмовної роботи за інтервалами в програмі Safety*

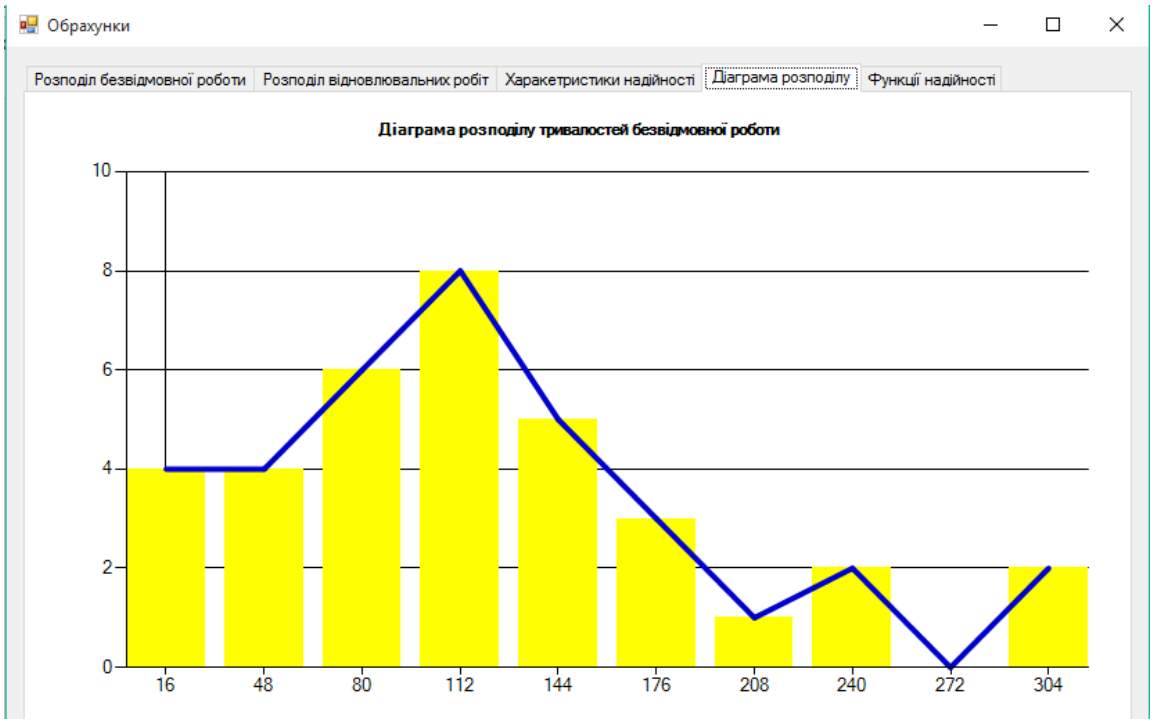


Fig. 6 – Diagram of failure-free maching functioning division in Safety / *Діаграма розподілу тривалостей безвідмовної роботи в програмі Safety*

For this the application selects a basic value, which somewhat exceeds the maximum value of time of failure-free functioning, and it is divided into 10 intervals.

Duration of failure-free machine functioning is calculated:

Для цього програма обирає базове значення, яке дещо перевищує максимальне значення тривалості безвідмовної роботи, яке поділяється на 10 інтервалів.

Обраховується тривалість безвідмовної роботи автомата:

$$m_{cp} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n} \Delta N_i \cdot t_i ,$$

n – number of intervals in diagram,

ΔN_i – number of falling into *i*-interval,

t_i – the middle of *i*-interval,

N – total number of periods of failure-free functioning, is equal: $N = \sum_{i=1}^{n} N_i$.

n - число інтервалів діаграми,

ΔN_i - число випадків потрапляння в і-ий інтервал,

t_i - середина і-го інтервалу,

N - загальна кількість періодів безвідмовної роботи, рівна: $N = \sum_{i=1}^{n} N_i$.

Further the function reliability is built. Probability that after the fix the machine will function again is considered 1. Then statistical probability that after switching on the machine will work longer than i-interval is:

Далі будується функція надійності автомата. Імовірність того, що автомат після усунення відмови перейде у працездатний стан, приймається рівною 1. Тоді статистична ймовірність того, що автомат пропрацює після включення більше і-го інтервалу складе:

$$P(i) = \frac{1}{N}\left(N - \sum_{j=1}^{i} \Delta N_j \right),$$

Probabilistic function of reliability is given:

Також приводиться ймовірнісна функція надійності за виразом:

$$P(t) = e^{-\chi} = e^{-\frac{t}{m}} = e^{-\frac{t}{118,4}}$$

Using the data received a graph of statistical and probabilistic function of reliability is built (fig. 7)

За отриманими даними будується графік статистичної та ймовірнісної функції надійності (рис. 7)

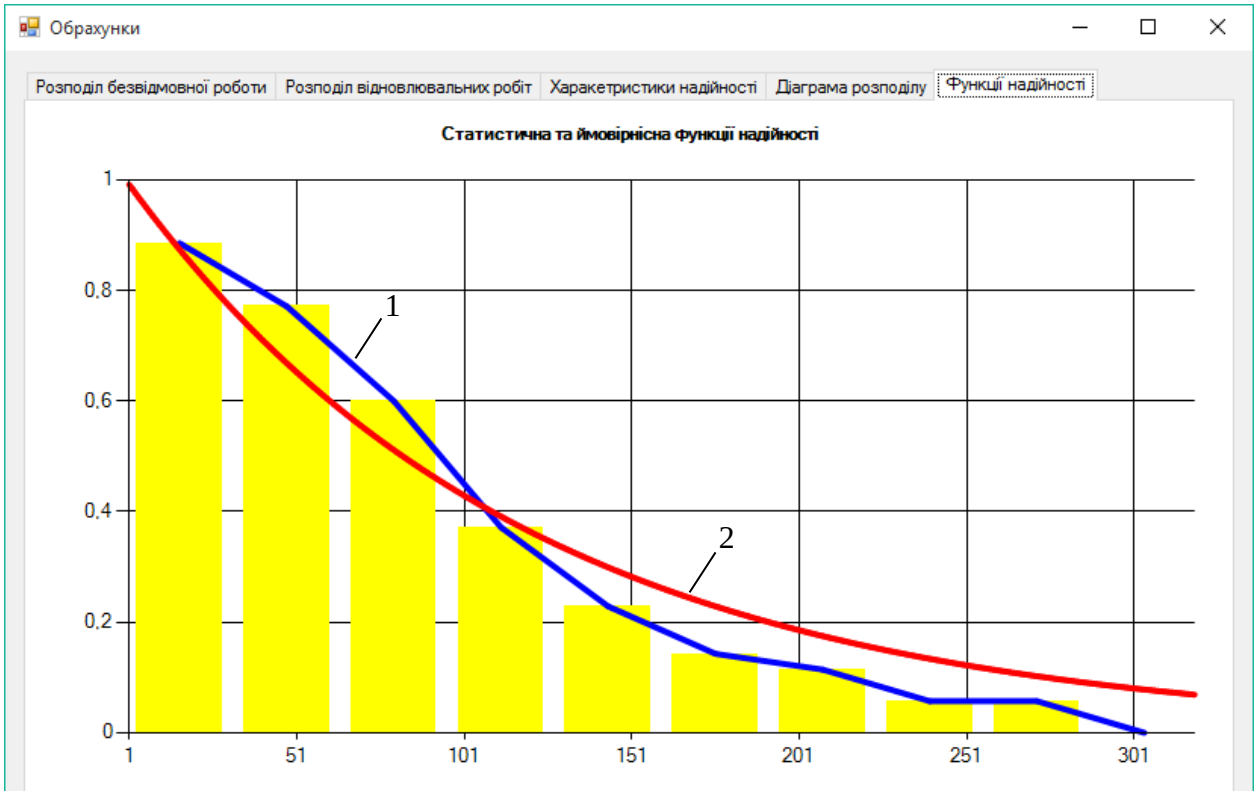


Fig. 7 – Graph of statistical (1) and probabilistic (2) reliability functions of Safety / Графік статистичної (1) та ймовірнісної (2) функції надійності автомата в програмі Safety

Repairability and availability coefficients of the machine are calculated in the same way (Fig. 8).

Аналогічно розраховуються показники ремонто-придатності автомата та коефіцієнт готовності автомата (рис. 8).

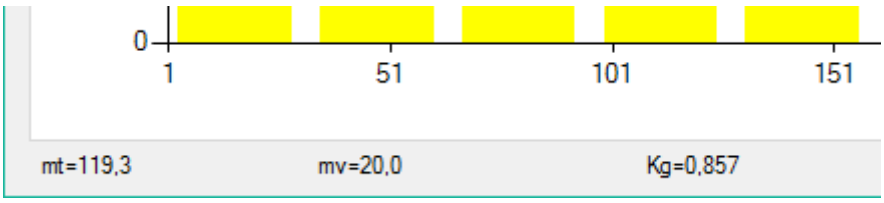


Fig. 8 – Calculation of indexes of average failure-free functioning, average time to restore functioning and coefficient of machine readiness in Safety / *Обрахунок показників середньої тривалості безвідмовної роботи, середньої тривалості відновлення працездатності та коефіцієнта готовності автомата в програмі Safety*

On the second stage reliability of machine's mechanisms is analyzed. For this periods of failure-free functioning and time to restore functioning for each machine's component is calculated according to input data.

Average time of failure and average time to repair each mechanism are calculated, as well as intensity of their failure, repair and coefficient of availability (fig. 9).

To calculate coefficients of machine availability the following formula is used:

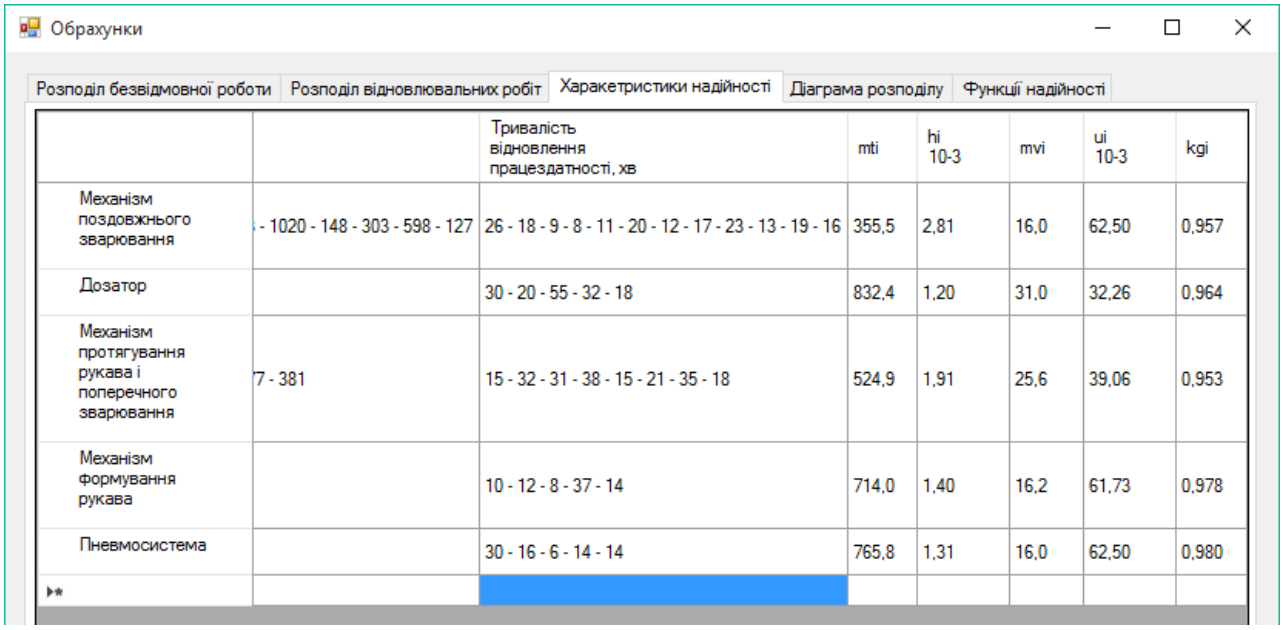
На другому етапі відбувається аналіз надійності механізмів автомата. Для цього за вхідними даними визначаються періоди безвідмовної роботи і тривалості відновлення працездатності для кожного з механізмів автомата. Розраховується середній час напрацювання та середня тривалість відновлення кожного механізму, а також інтенсивності їх відмов, відновлення та коефіцієнт готовності (рис. 9).

Для розрахунку коефіцієнтів готовності механізмів автомата використовується формула:

$$k_{Гi} = \frac{m_{mi}}{m_{mi} + m_{вi}}$$

m_{mi} – average time of failure of i-mechanism
$m_{вi}$ – average time needed to repair i-mechanism

m_{mi} – середній час напрацювання і-го механізму
$m_{вi}$ – середня тривалість відновлення і-го механізму



Обрахунки

Розподіл безвідмовної роботи | Розподіл відновлювальних робіт | Характеристики надійності | Діаграма розподілу | Функції надійності

		Тривалість відновлення працездатності, хв	mti	hi 10-3	mvi	ui 10-3	kgi
Механізм поздовжнього зварювання	- 1020 - 148 - 303 - 598 - 127	26 - 18 - 9 - 8 - 11 - 20 - 12 - 17 - 23 - 13 - 19 - 16	355,5	2,81	16,0	62,50	0,957
Дозатор		30 - 20 - 55 - 32 - 18	832,4	1,20	31,0	32,26	0,964
Механізм протягування рукава і поперечного зварювання	7 - 381	15 - 32 - 31 - 38 - 15 - 21 - 35 - 18	524,9	1,91	25,6	39,06	0,953
Механізм формування рукава		10 - 12 - 8 - 37 - 14	714,0	1,40	16,2	61,73	0,978
Пневмосистема		30 - 16 - 6 - 14 - 14	765,8	1,31	16,0	62,50	0,980

Fig. 9 – Calculation of machine's mechanisms reliability characteristics in Safety / *Розрахунок характеристик надійності механізмів автомата в програмі Safety*

Using the data received, the software calculates the coefficient of machine's availability or its separate selected structural components (mechanisms):

Використовуючи отримані дані, програма розраховує коефіцієнт готовності автомата, або окремих вибраних його структурних елементів (механізнів):

$$K_{Г} = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{1}{k_{Гi}} - 1 \right)}$$

The results of machine's mechanisms reliability can be viewed on previously created graph (Fig. 10).

Результати аналізу надійності механізмів автомата, можна переглянути на раніше створеній структурній схемі (рис. 10).

Fig. 10. Results of machine's reliability analysis in Safety / *Результати аналізу надійності автомата в програмі Safety*

CONCLUSIONS

The methodology above can be used in scientific research and exploitation practice to determine the optimal terms of technical maintenance that provide the highest coefficient of TC availability. This goal is reached by realization of mathematical model that helps select the program of system maintenance. It provides optimal frequency in maintenance of each of subsystems and of the system as a whole.

ВИСНОВКИ

Приведена методика може бути використана в наукових дослідженнях і практиці експлуатації для визначення оптимальних значень періоду технічного обслуговування, які забезпечують максимум коефіцієнта готовності ТК. Ця мета досягається шляхом реалізації математичної моделі, що дозволяє визначати програму обслуговування системи, що забезпечує оптимальну періодичність обслуговування кожної з підсистем і системи в цілому.

REFERENCES

[1]. Automatic Filling Machine AO-111. Technical description and user's manual.
[2]. Palchevskyi B. Automation of technological processes (manufacturing and packaging products): Textbook. – Lviv: "Svit", 2007. – 392 pp.

БІБЛІОГРАФІЧНІ ПРОСИЛАННЯ

[1]. Автомат разливочный АО-111. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.
[2]. Пальчевський Б.О. Автоматизація технологічних процесів (виготовлення і пакування виробів): Навчальний посібник. - Львів: Світ, 2007. - 392 с.